



UNIVERSIDADE DO MINDELO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR

CURSO DE LICENCIATURA em ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ANO LETIVO 2018/2019 – 4º ANO

**Tema: Construção e Análise Técnica de um Painel Solar Térmico com
Materiais Reutilizados**

Autor: Zuleica da Luz Delgado, N.º 3466

Orientador: Eng.º Hernâny Medina Do Rosário Monteiro

Mindeló, 2019

**CURSO DE LICENCIATURA em
ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ANO LETIVO 2018 / 2019 – 4º ANO**

**Análise e Construção de um Painel Solar Térmico com Materiais
Reutilizados**

A U T O R: Zuleica da Luz Delgado, N.º 3466

O R I E N T A D O R: Eng.º Hernâny Medina do Rosário Monteiro

Zuleica da Luz Delgado

**Construção e Análise Técnico de um Painel Solar Térmico com
Materiais Reutilizados**

Projeto de trabalho de conclusão de curso, apresentado à Universidade do Mindelo como parte dos requisitos para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia em Energias Renováveis.

Orientador:
Eng.º Hernâny Medina do Rosário Monteiro

Mindelo, 2019

Dedicatoria

Dedico este trabalho a uma pessoa muito especial para mim Anacleto Mendes Soares...

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de deixar os meus agradecimentos a uma pessoa especial na minha vida Anacleto Mendes Soares, devido a sua extrema importância e por sempre confiar em mim, na minha capacidade de lutar e enfrentar todos os desafios que me foram propostos durante o curso e na minha vida em geral.

A minha família em especial aos meus pais pela dedicação e motivação que me transmitiram ao longo da minha vida.

Ao meu orientador Eng.º Hernâny Monteiro pela sua disponibilidade, dedicação e por ter esclarecido todas as minhas dúvidas.

Aos meus professores e ao meu coordenador Ph.D. João Dias pela sua paciência e dedicação na transmissão dos seus conhecimentos ao longo do curso referido.

Gostaria também de agradecer a vários colegas que me foram ajudando durante a realização deste trabalho de alguma forma e durante estes anos de convivência sendo impossível menciona-los a todos aqui, o apoio que me deram foi particularmente útil.

Queria por último agradecer o enorme profissionalismo de todos os que me auxiliaram durante a elaboração deste trabalho de conclusão de curso.

*““Você nunca sabe que resultados virão
da sua ação, mas se você não fizer nada,
não existirão resultados”*

Gandhi

Resumo

O presente projeto procura dar resposta ao aumento da procura de água sanitária quente por parte de hotéis e residências.

Para colmatar tal procura o atual projeto visa criar um painel solar térmico adaptado com materiais reutilizados de forma a dar resposta as necessidades técnicas e de consumo exigidos para um painel solar térmico.

O projeto também irá contar com um sistema de automatização de forma a se poder controlar os parâmetros do painel e fazê-lo funcionar de forma totalmente autónoma, conseguindo assim aprofundar conhecimentos na área solar e na área de automação e controlo duas áreas de extrema importância no curso.

Além da construção deste protótipo irá também se tomar um estudo de caso de forma a aplicar conhecimentos na área dimensionamento de painéis como também na área financeira realizando a viabilidade do projeto e os seus impactes naturais e socioeconómicos.

Palavras-chave: Solar Térmico, Automação, Reutilizados.

Abstract

The present project seeks to respond to the increased demand for hot water from hotels and residences.

To meet this demand the current project aims to create a solar thermal panel adapted with reused materials in order to meet the technical and consumption needs required for a solar thermal panel.

The project will also rely on an automation system in order to be able to control the parameters of the panel and make it work in a totally autonomous way, thus achieving deepening knowledge in the solar area and in the area of automation and control two areas of extreme importance in the course.

In addition to the construction of this prototype will also take a case study in order to apply knowledge in the area of panel sizing as well as in the financial area realizing the feasibility of the project and its natural and socio-economic impacts.

Keywords: Thermal Solar, Automation, Reused.

Lista de Abreviaturas

Abreviatura/Símbolos	Denominação
A	Área
CST	Centrais Solares Térmicas
H ₂	Hidrogénio
He	Hélio
K	Coeficiente de transferência térmica
Kg	Quilograma
Km ²	Quilómetros quadrados
Km	Quilómetros
KW	Quilowatt
KWh	Quilowatt hora
L	Litros
m	Metros
m ²	Metros quadrados
m ³	Metros cúbicos
Q	Transferência de calor
R	Raio
W	Watt
W/m ²	Watt por metro quadrado
ΔT	Diferença de Temperatura
α	Absorbância
τ	Transmitância
ρ	Refletancia

Índice

Agradecimentos	iv
Resumo	vi
Abstract	vii
Lista de Abreviaturas	viii
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xii
Introdução	13
Justificativa do Projeto	14
Hipóteses do Projeto	15
Objetivos do Projeto	16
Metodologia.....	17
CAPÍTULO I – ESTADO DA ARTE	18
1.O Sol Como Fonte De Energia	19
1.1.Formas de Captação da Energia Solar Térmica	22
1.2.Tecnologias Atuais de Aproveitamento da Energia Solar Térmica	24
1.3.Ângulos e Orientações Geográficas Sol-Painel	26
1.4.Painéis Solares Térmicos	28
1.5.Composição de um Sistema Solar Térmico.....	32
1.6.Caracterização dos Painéis Quanto ao Porte	34
1.7.Métodos de Dimensionamento de Sistemas Solares Térmicos.....	36
2.Exposição da Ideia de Projeto	41
2.1.Caracterização Geográfica do local do Projeto	42

2.2.Caraterização da Carga de Consumo.....	46
2.3.Dimensionamento Manual do Pannel.....	47
2.4.Dimensionamento Técnico e Financeiro no Retscreen.....	52
2.5.Construção do Protótipo.....	57
2.6.Automatização do Pannel	62
2.7.Custos do Protótipo.....	66
2.8.Resultados Finais Obtidos Com o Protótipo	67
2.9.Vantagens e Desvantagens do Sistema fase a um Pannel Solar Convencional	68
3.Recomendações Futuras	69
4.CONCLUSÃO.....	70
4.Bibliografia.....	72

Índice de Figuras

Figura 1: Estrutura do Sol.....	20
Figura 2: Radiações Solares	21
Figura 3: Espectro da Radiação Solar.....	22
Figura 4: Captação passiva da Radiação Solar.....	23
Figura 5: Central Solar Termoelétrica de Sevilha	24
Figura 6: Esquema de funcionamento de uma CST	25
Figura 7: Esquema de funcionamento duma CST com concentradores parabólicos	25
Figura 8: Ângulos da Radiação Solar em relação a um Plano:	27
Figura 9: Composição de um painel em corte	28
Figura 10: Efeitos físicos de transição térmica num vidro seletivo.....	29
Figura 11: Componentes de um Sistema Solar.....	32
Figura 12: Ligação de painéis em serie	33
Figura 13: Associação de painéis em paralelo	33
Figura 14: Método de Circulação Forçada	35
Figura 15: Tipologia de Termossifão	35
Figura 16: Arquipélago de cabo verde	42
Figura 17: Ilha de São Vicente	43
Figura 18: Radiação anual disponível na ilha.....	44
Figura 19: Localização do Edifício	46
Figura 20: Modulo Solar Vulcano	51
Figura 21: Dados inseridos no Retscreen	52
Figura 22: Caraterísticas técnicas do painel solar térmico	53
Figura 23: Dados relacionados ao modulo e custos associados	54
Figura 24: Dados financeiros obtidos no Retscreen	55
Figura 25: Gráfico de Fluxo Cumulativo	56
Figura 26: Colunas PVC com Garrafs.....	59
Figura 27: Garrafa de plástico utilizada como revestimento.....	60
Figura 28: Aspeto final do painel	60
Figura 29: Reservatório	61
Figura 30: Arduino Uno	62
Figura 31: Sensores temperatura e nível de água	63
Figura 32: Relé estado solido e Electro Válvula	63
Figura 33: Código de sensores de temperatura para Arduíno	64
Figura 34: Código de sensores de nível de água	65

Índice de Tabelas

Tabela 1: Dados da Ilha de São Vicente	45
Tabela 2: Consumo do Edifício	47
Tabela 3: Parâmetros de calculo de Volume de Armazenamento	48
Tabela 4: Valores de calculo de Energia Útil	48
Tabela 5: Resultados obtidos do dimensionamento	50
Tabela 6: Resultados finais.....	57
Tabela 7: Lista de materiais utilizados na construção do prototipo	58
Tabela 8: Custos com Protótipo.....	66
Tabela 9: Dados Finais obtidos no Pannel	67

Introdução

O aquecimento de águas tem ganhado cada vez mais importância no ramo hoteleiro e residencial sendo um dos mais importantes requisitos para se obter graus de conforto nestes edifícios.

Cabo Verde não foge a regra, e com um sector hoteleiro em crescimento muito tem sido o aumento da procura de equipamentos do tipo, e consequentemente tem-se observado uma aposta nos termoacumuladores elétricos equipamentos esses que além de consumir altas quantidades de energia nos seus processos térmicos também tem uma vida útil reduzida.

Para contrastar com essa tecnologia existem painéis solares térmicos que absorvem a energia da radiação solar para o aquecimento de águas, mas os seus preços relativamente altos constituem uma dificuldade na sua implementação. Por isso o atual projeto monográfico propõem a construção de um modelo de painel solar térmico utilizando materiais reutilizados de forma a baixar este custo dos mesmos.

De salientar que será também testado alguns parâmetros de forma a assegurar que o resultado final do projeto seja aceitável e consiga dar resposta as necessidades de uma residência familiar.

Com isso tenciona-se encontrar um método suficientemente eficaz para se utilizar em residências rurais e quem sabe também em cidades. Também irá se recorrer a técnicas de automação e controlo de forma a aumentar a autonomia do sistema e aumentar o rendimento do produto final de forma a diminuir o número de manutenções.

Para finalizar escolheu-se o *software* RETSCRENN por esse ter uma grande vantagem no trabalhar as vertentes económicas do sistema assim como assegurar excelentes resultados para o painel solar térmico sendo hoje em dia muito difundido.

Justificativa do Projeto

Escolheu-se elaborar este projeto visto o grande avanço das tecnologias de energias renováveis que temos vindo a assistir no país. Além do solar fotovoltaico e do eólico outra grande tecnologia que tem vindo a ser muito utilizada é sem dúvida a solar térmica nomeadamente os painéis solares térmicos planos de aquecimento de águas.

Mas o grande inconveniente são os preços desta tecnologia que a impossibilita de se expandir e tornar-se realmente concorrente face aos termoacumuladores elétricos que mesmo com um alto consumo energético e baixa vida útil ainda são a principal opção do mercado por ser cerca de três vezes mais barata do que a tecnologia renovável.

Com isso em mente e com a noção clara de mudança de paradigma pensou-se então numa forma de oferecer ao mercado um painel solar térmico funcional e capaz de dar resposta as necessidades do mercado mas tendo um custo acessível, para isso pensou-se e pesquisou-se uma grande gama de matérias e suas características para através de materiais reciclados se criar um protótipo de painel capaz de responder a tais exigências.

Para garantir estas tais exigências técnicas irá se utilizar microcontroladores Arduino equipados com múltiplos sensores garantindo a temperatura e qualidade exigida no projeto este quando se fala em controlo do sistema a nível de suportar o consumo irá se dimensionar manualmente e em *software* os parâmetros técnicos necessários.

Se o projeto se demonstrar viável técnica e financeiramente este será uma boa opção de implementação em residências rurais e algumas residências urbanas onde as famílias tenham um menor poder financeiro. De relembrar que o projeto não tenciona substituir os painéis solares térmicos atuais pois tal não seria possível visto a alta qualidade dos tais tanto em respostas como em qualidade dos materiais utilizados.

Hipóteses do Projeto

Em resposta a problemática que se quer solucionar estipulou-se algumas hipóteses coerentes e possíveis de serem ou não observados no final do projeto. Assim abaixo iremos apresentar as hipóteses estipuladas para o trabalho.

Também de demarcar que estas hipóteses foram elaboradas de acordo com parâmetros e diretrizes de extrema importância para trabalhos de engenharia, aos quais demonstram se o projeto é realmente viável e sustentável que durante a sua elaboração como também o seu produto final.

Como é evidente tais hipóteses foram elaboradas de acordo com a problemática do projeto que caso não tenha ficado claro durante a justificação tem por pergunta de partida a seguinte: "Poderá ser viável construir um painel solar térmico com materiais reutilizados e que de resposta as exigências técnicas e de qualidade exigidos?".

Hipótese 1: O projeto apresentou ser viável economicamente e capaz de manter a produção dentro dos parâmetros requeridos para o nível de consumo estipulado.

Hipótese 2: O projeto não demonstra ser capaz de dar resposta as necessidades de consumo nem as diretrizes técnicas exigidas a uma tecnologia do tipo.

Hipótese 3: Poderá ser uma aposta viável caso seja possível encontrar outros materiais mais adequados e ou se aplicar processos industriais aos materiais reutilizados no processo.

Objetivos do Projeto

Para o trabalho agora apresentado estipulou-se um conjunto de objetivos específicos e um objetivo geral de forma a servir de guia de orientação durante a elaboração do projeto. Estes tais como as hipóteses foram elaboradas de acordo com as exigências estipuladas para um projeto da envergadura que é um TCC (Trabalho de Conclusão de Curso).

Assim tendo em conta não só a ideia de projeto como a problemática que se quer solucionar distinguiu-se os seguintes objetivos específicos e o geral da seguinte forma:

Objetivo Geral: Criar um painel solar térmico com matérias reutilizados de forma a dar resposta ao consumo estipulado e aos parâmetros técnicos exigidos a tais tecnologias.

Já os objetivos específicos passam por:

- Compreender os processos de propagação e transmissão de energia;
- Estudar as tipologias e funcionamentos dos painéis solares térmicos;
- Efetuar Dimensionamentos e levantamento de consumos;
- Utilizar *softwares* de apoio e técnicas de controlo e automatização;
- Analisar a viabilidade técnica e financeira do projeto.

Metodologia

De forma a compreender-se melhor o conteúdo do trabalho assim como facilitar a leitura do mesmo a que se apostar numa metodologia clara e coesa.

Mas também na elaboração do próprio projeto a que se apostar numa metodologia rigorosa e abstraída, com isso se conseguiu alcançar os resultados pretendidos.

Assim sendo a nível da elaboração do projeto agora apresentado seguiu-se os seguintes pontos principais que serviram de guia e orientação assim como auxiliaram fortemente na obtenção de dados para a elaboração do mesmo.

- Observação e dedução do objeto de estudo;
- Pesquisa e análise da bibliografia existente;
- Observação e recolha e análise de dados do meio e infraestruturas a trabalhar;
- Realização de cálculos e utilização de programas computacionais;
- Entrevistas com profissionais e pesquisadores nacionais da área;
- Elaboração de soluções viáveis para a problemática;
- Estudo da viabilidade económica.

A metodologia empregue demonstrou ao longo do trabalho os seus resultados e estes foram satisfatórios visto que empregou um ritmo e fluência de trabalho muito bom.

CAPÍTULO I – ESTADO DA ARTE

Neste capítulo retratar-se-á o nível atual da tecnologia dos painéis solares térmicos assim como demais tecnologias a serem empregues no projeto.

Também de salientar que o estado da arte serve de base para todos os trabalhos efetuados durante o estudo de caso.

Para melhor se compreender o conteúdo do estado da arte dividiu-se este em alguns pontos de referência sendo que estes mesmos pontos poderão ter subpontos no decorrer da sua elaboração. Estes pontos principais são:

- O Sol como fonte de energia;
- Propagação da energia no meio;
- Painéis Solares Térmicos;
- Dimensionamento de Sistemas Solares Térmico;

Relembrando que todo estado da arte é recolhido na bibliografia e webgrafia existente sobre o assunto e que este foi elaborado de forma a ser o mais atual possível.

1. O Sol Como Fonte De Energia

O sol é uma grande esfera de gases em fusão medindo cerca de $1.39 \cdot 10^9$ m de diâmetro e a uma distância média da terra de $1.5 \cdot 10^{11}$ m. Com uma temperatura na sua superfície em volta dos 5777 K e no seu interior variando entre $8 \cdot 10^6$ a $40 \cdot 10^6$ K e uma densidade avaliada em cem vezes superior a da água (Duffie *at al*, 2013).

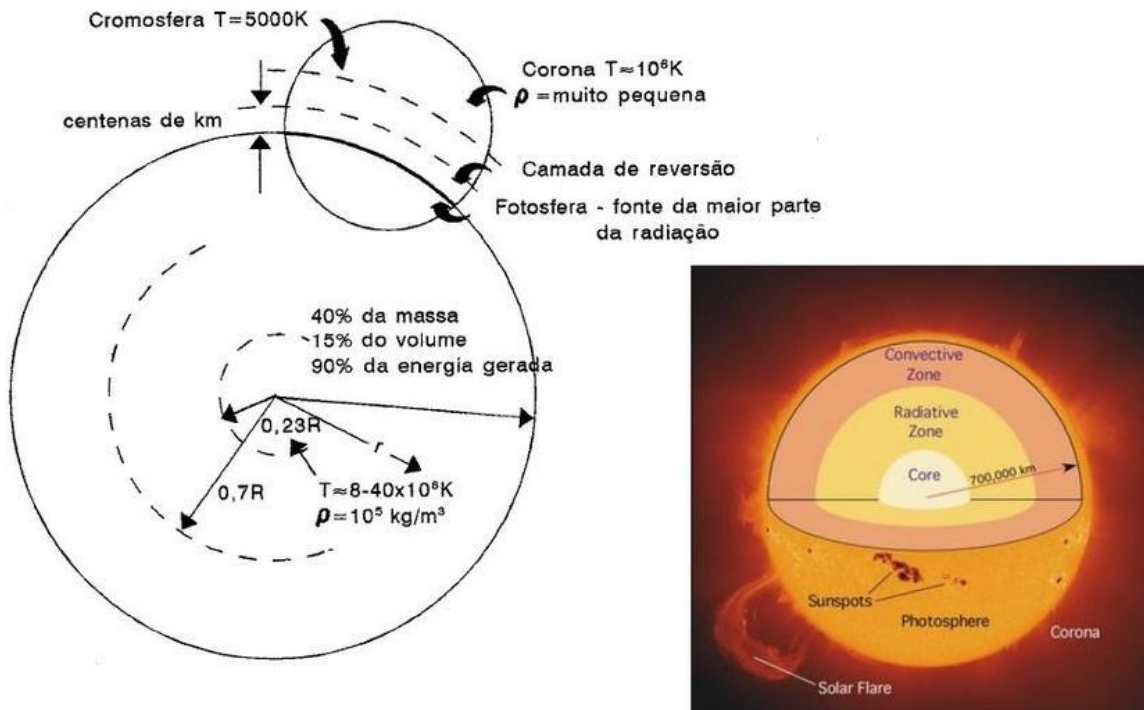
O Sol na verdade nada mais é do que um grande reator de fusão em que átomos de Hidrogénio (H_2) fundem-se dando origem a núcleos de Hélio (He), durante estes processos a uma grande liberação de energia térmica, esta energia é depois propagada pelo espaço em todas as direções derivado da forma geométrica solar (Duffie *at al*, 2013).

É estimada que cerca de 90% da energia gerada no sol tem origem na região entre 0 a $0.23 R^1$ e onde se encontra 40% da massa do sol. A uma distância de $0.7R$ do centro já sentimos uma queda de temperatura para 130 000 K assim como a sua densidade que também cai para 70 Kg/m^3 g, também é nesta faixa que os processos convectivos se tornam extremamente importantes, finalizando na zona de 0.7 a $1.0R$ do centro do sol ou a chamada zona convectiva onde encontramos temperaturas a volta dos 5000 K e uma densidade de 10^{-5} Kg/m^3 (Duffie *at al*, 2013).

A superfície do sol aparenta ser composta granulados, ou seja, células irregulares de convecção com dimensões a volta dos 100 a 3 000 Km e com períodos de vida de alguns minutos, outros corpos da mesma dimensão chamados de *sunspots* também se apresentam na sua superfície. Além destes na margem da zona convectiva ainda poderemos encontrar a fotosfera, cromosfera e a corona (Duffie *at al*, 2013).

¹ R- raio geométrico do sol

Figura 1: Estrutura do Sol



Fonte: Duffie et al, 2013

A nível geométrico a distancia sol-terra varia entre $9.3 \cdot 10^7$ a $1.5 \cdot 10^{11}$ m e com um angulo de penetração em zona específica de 32° o que resulta numa constante energia por unidade de tempo avaliado em 1367 W/m^2 , também conhecida por radiação extraterrestre (G_{sc}) essa energia ao atravessar a atmosfera e ao se inserir as diferentes latitudes ira variar de acordo com o ponto geográfico de estudo na superfície da terra assim como a data ou estação do ano (Duffie et al, 2013).

Para se calcular a radiação extraterrestre incidente (G_{on}) deve-se então seguir a seguinte formula:

$$G_{on} = G_{sc} \cdot (1 + 0.0033 \cos(360n/365)) \quad (1)$$

Ou

$$G_{on} = G_{sc} \cdot (1.000110 + 0.034221 \cos B + 0.001280 \sin B + 0.000719 \cos 2B + 0.000077 \sin 2B) \quad (2)$$

Em que B é dado por:

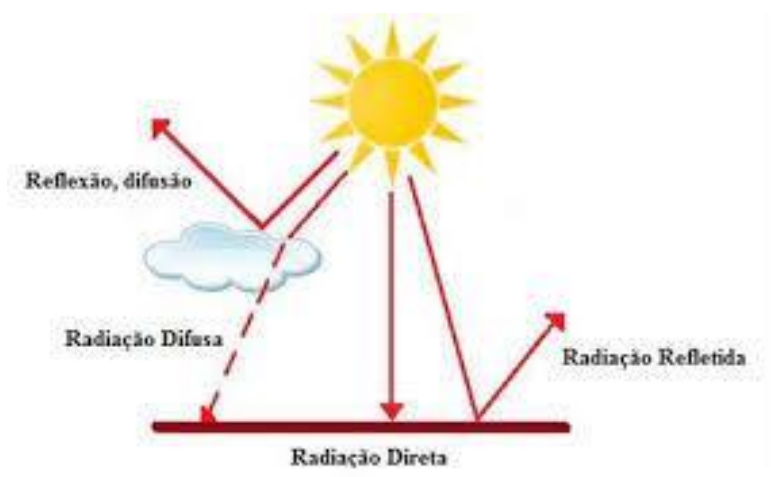
$$B = (n-1) \cdot (360/365) \quad (3)$$

A este valor deve-se multiplicar a massa atmosférica que varia com o ângulo solar é matematicamente varia entre 1 ao nível do mar e 2 durante o período de zênite.

$$m = 1/\cos\Theta_z \quad (4)$$

Segundo Castro, (2013) é também de muita importância distinguir-se a radiação direta que é a radiação solar que chega a superfície terrestre ou do painel sem ser refletida por outros corpos e a radiação difusa que é a radiação solar refletida por outros corpos como demonstra a Figura 2.

Figura 2: Radiações Solares

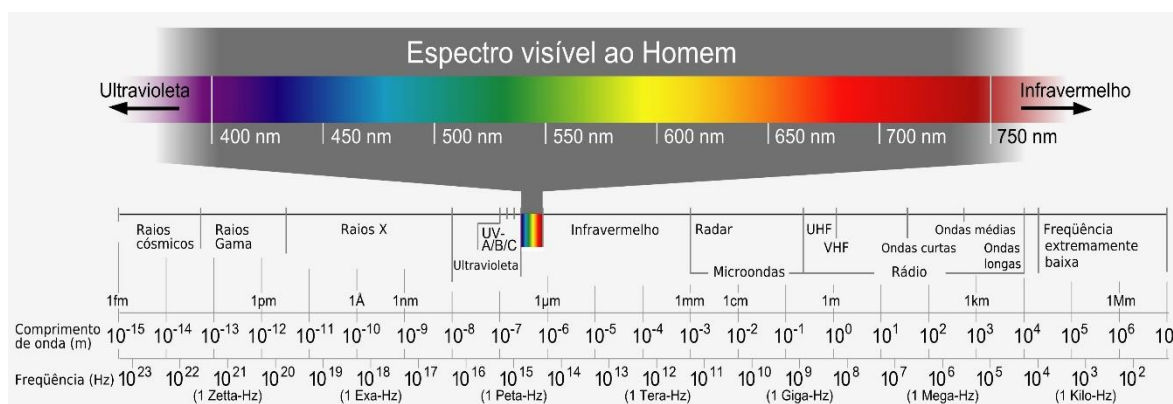


Fonte: Google Imagens², 2019

Assim o somatório da radiação direta com a radiação difusa dará a radiação solar total incidente na superfície atmosférica terrestre (Castro, 2013). Outro ponto importante é a composição da radiação solar, ou seja, o espectro solar onde é possível verificar a banda de energia de cada faixa assim como o seu comprimento de onda como demonstrada na Figura 3.

² Link: <https://aulasdegeografiaodivelas.wordpress.com/2015/06/12/nocoes-radiacao-solar/>

Figura 3: Espectro da Radiação Solar



Fonte: Google Images³, 2019

De forma sucinta a energia entregue pelo sol a superfície terrestre durante um dia é superior a toda energia consumida na terra durante um ano inteiro cerca de $1.5 \cdot 10^{14}$ KWh/ano (REN21, 2016).

1.1. Formas de Captação da Energia Solar Térmica

A Energia Solar que chega na Terra não é uniforme sendo que este varia com a latitude do local onde se localizar a medição, a curvatura da terra faz com que zonas próximas ao Equador tenham maior incidência da radiação enquanto as zonas próximas aos polos ou em latitudes elevadas do globo recebem uma menor quantidade de energia (Castro, 2013).

Isso não só varia as temperaturas ao longo do globo terrestre como também cria fenômenos naturais como os ventos, mares e praticamente todas as formas de energia ditas renováveis (Castro, 2013).

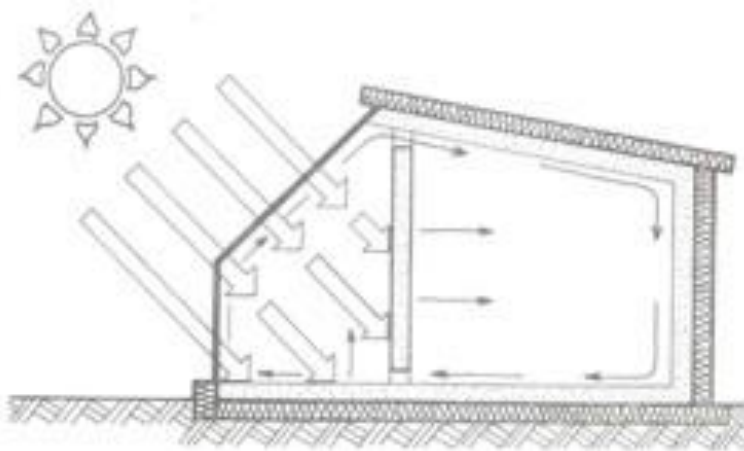
Assim para eliminar parte deste fenômeno muitas técnicas são empregadas para aumentar o rendimento dos mecanismos aproveitadores de radiação solar nestas áreas de pouca inserção de radiação. Algumas destas técnicas estão abaixo apontadas (Duffie et al, 2013).

³ Link: <http://meteoropole.com.br/2012/12/radiacao-na-atmosfera-curso-de-meteorologia-e-saude-parte-1/>

Para sistemas passivos que tem por função natural ou são preparados para realizarem esta tarefa dispensando qualquer aparato mecânico, estes normalmente são orientados para o hemisfério oposto fazendo assim um maior aproveitamento da radiação incidente, também muitas técnicas de eficiência energética são empregados com vista a aumentar os seus rendimentos, estes mecanismos passivos são normalmente lajes de betão, envidraçados, e outros acumuladores de energia térmica (Duffie et al, 2013).

Abaixo na figura 4 apresenta-se um esquema demonstrativo do fenómeno de ganho térmico por diferentes mecanismos passivos.

Figura 4: Captação passiva da Radiação Solar



Fonte: Google Imagens⁴, 2019

Quando já se fala em mecanismos criados para aproveitar a energia solar térmica sob forma de calor muitas são as técnicas empregues para aumentar os seus rendimentos tais como utilização de material capaz de criar um efeito de estufa, utilização de materiais com alto índice de absorvência e transmissão e fraca capacidade de refletir a radiação (Duffie et al, 2013). Estas serão abordadas diretamente no próximo subcapítulo.

⁴ Link:

https://www.google.pt/search?q=ganho+passivo+de+energia+termica&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjBsovhxfXhAhUU5uAKHX8OC0QQ_AUIDigB&biw=1024&bih=632#imgsrc=2L6RqXm-p5KWOM:

1.2. Tecnologias Atuais de Aproveitamento da Energia Solar Térmica

Atualmente muitas são as tecnologias de aproveitamento da energia solar térmica, mas neste subcapítulo irá se demarcar duas tecnologias a de centrais termoelétricas solares e os painéis solares térmicos a qual se baseia o atual trabalho.

As centrais solares termoelétricas subdividem-se em centrais de torre ou centrais de concentradores parabólicos. Ambos respondem ao mesmo princípio básico de funcionamento onde a radiação aquece um ou dois fluidos de trabalho e estes por sua vez acionam um turbogerador que produz energia elétrica. Estas centrais estão muito difundidas na Espanha sendo o local onde se poderá encontrar a maior central do mundo mais propriamente na Sevilha (REN21, 2016).

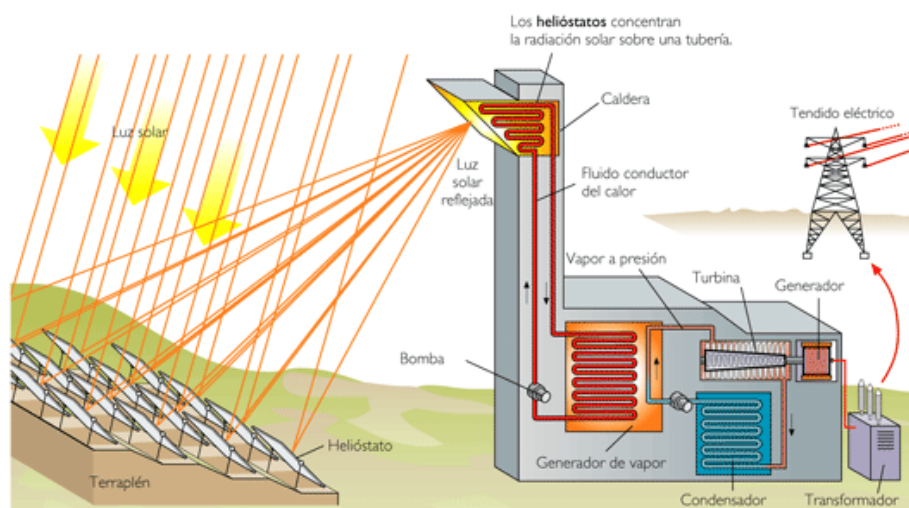
Abaixo na figura 5 apresenta-se a central em torre da Sevilha, os concentradores refletem e concentram a radiação solar num ponto específico no topo da torre onde há presença de uma placa metálica ou outro material com boa condução, esta radiação é depois passada a um fluido de trabalho que ao aquecer passa a estar no estado gasoso com grande temperatura e pressão, com isso consegue acionar a turbina e o gerador produzindo assim a energia elétrica necessária (GemaSol, 2019) como mostra a figura 6.

Figura 5: Central Solar Termoelétrica de Sevilha



Fonte: Central GemaSol, 2019

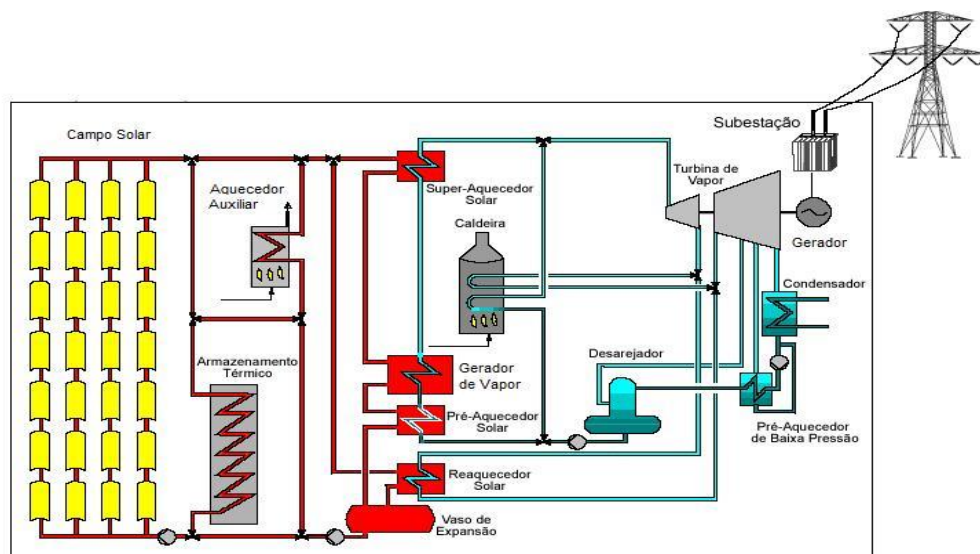
Figura 6: Esquema de funcionamento de uma CST



Fonte: Central GemaSol⁵, 2019

As CST (Centrais Solares Térmicas) de concentradores parabólicos também respeitam mesma logica de funcionamento diferenciando apenas numa torre já que estas dispensam a torre e utilizam tubulação onde passa o fluido e onde é concentrado a radiação (GemaSol, 2019) a figura 7 irá demonstrar um esquema do seu funcionamento.

Figura 7: Esquema de funcionamento duma CST com concentradores parabólicos



Fonte: GemaSol, 2019

⁵ Link: <https://ultimosegundo.ig.com.br/ciencia/meioambiente/na-andaluzia-uma-usina-solar-funciona-ate-de-noite/n1597701793380.html>

Já os painéis solares térmicos contêm no seu interior as tubulações feitas de materiais condutores térmicos que tem a função de realizar a transição do calor acumulado e captado pelo painel para o seu fluido que circula nestas tubulações, além destes este é muito bem isolado para evitar perda de calor pelas extremidades ou laterais do painel (Roriz et al, 2010).

1.3.Ângulos e Orientações Geográficas Sol-Painel

No que diz respeito aos ângulos formados entre a posição relativa do sol e a normal do plano do painel muitos serão os ângulos a serem distinguidos e relacionados. Assim sendo os principais pontos a serem analisados passam por alguns destes ângulos e estarão apresentados na Figura 8 (Duffie et al, 2013):

- Latitude: ângulo de localização medido desde equador até os polos sendo que o equador representa o 0° , polo norte 90° e polo sul -90° . Mais a frente poderemos observar a grande importância deste parâmetro;
- Declinação: ângulo de declinação da terra sobre o seu próprio eixo, e ou ângulo de posição do sol durante o meio-dia solar, estando o sol no meridiano do local ($-23.45^\circ = \delta = 23.45^\circ$.);
- Inclinação: ângulo entre o plano e a horizontal do local onde está localizado;
- Azimute de superfície: ângulo de abertura entre a direção da face do plano de referência e o ponto cardinal Sul (γ_s);
- Ângulo de Hora: ângulo de deslocamento solar entre o Este e o Oeste do meridiano do local em relação a rotação da terra sobre o seu eixo, cada hora varia o ângulo em 15° até a posição de meio-dia solar que representa os 90° e volta a decrescer durante a tarde;
- Ângulo de Incidência: ângulo entre a normal do plano e a direção da radiação solar.

Figura 8: Ângulos da Radiação Solar em relação a um Plano:

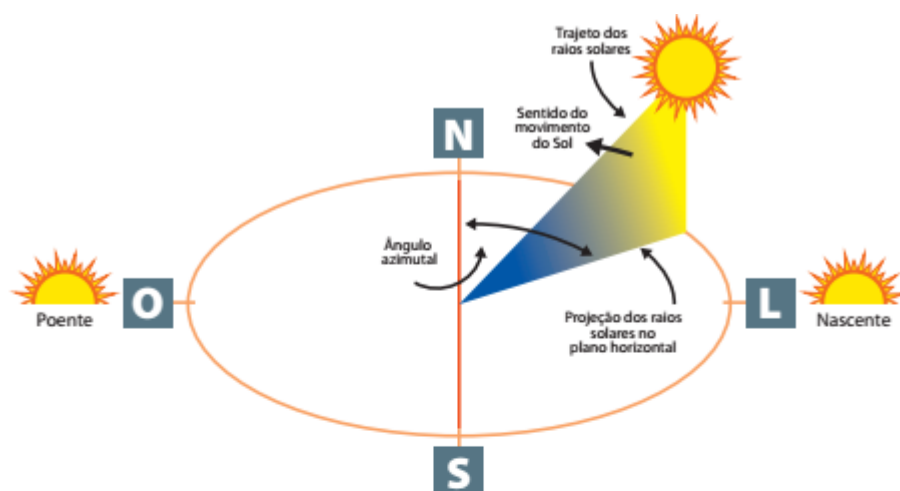
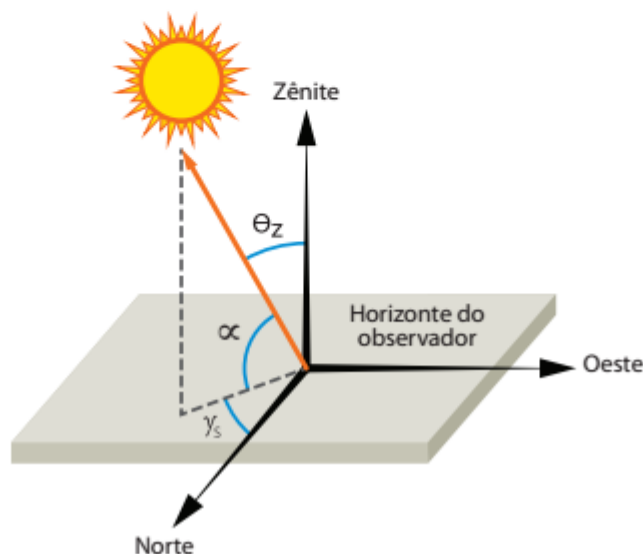


Figura 11 - Trajeto dos raios solares e ângulo azimutal.



Fonte: Google Images⁶, 2019

Para se calcular o ângulo de declinação terrestre utiliza-se segundo Duffie et al, (2013), relacionando os seguintes parâmetros:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin[360 \cdot (284 + n/365)] \quad (5)$$

⁶ Link:

https://www.google.com/search?q=angulos+da+radia%C3%A7%C3%A3o+solar+sobre+um+plano&source=images&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiHiq7cnM3iAhVt7OAKHdP4CkQQ_AUIECgB&biw=1024&bih=657#imgsrc=hERNxJAcrfj1ZM:

$$n = \sum \text{dias} + i \quad (6)$$

Outro parâmetro de grande importância é a própria latitude do local onde se pretende instalar o painel visto que este deve ser compensado na mesma medida na inclinação do painel com vista a fazer-se incidir a radiação solar com um ângulo perpendicular a normal do painel (Castro, 2013).

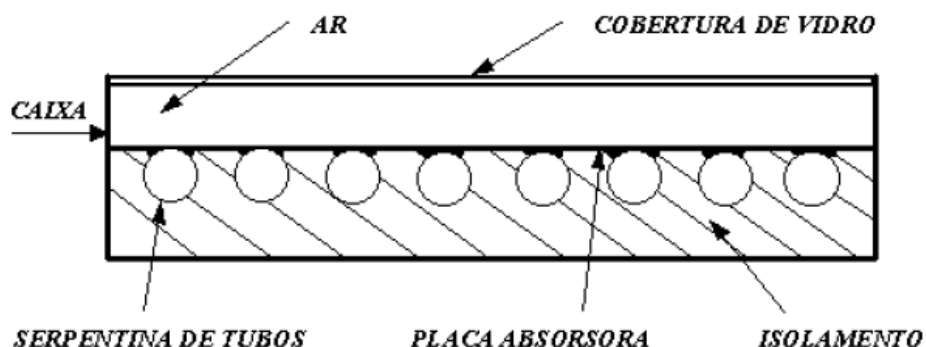
1.4. Painéis Solares Térmicos

Os painéis solares térmicos são dispositivos criados para se aproveitar a energia térmica contida na radiação solar, através de materiais condutores e também isoladores muito bem combinados pode-se aproveitar esta energia térmica para se aquecer um fluido no seu interior (Castro, 2014).

Para se dimensionar um painel solar térmico deve-se ter em consideração três partes fundamentais, sendo estes o isolamento das paredes laterais e da base de forma a evitar perdas térmicas, a superfície de captação da radiação que normalmente é uma superfície seletiva envidraçada e por fim o condutor do fluido que deve ser um material com alta condutividade térmica (Duffie, 2013).

A imagem abaixo ilustra os componentes de um painel solar térmico em corte.

Figura 9: Composição de um painel em corte



Fonte: Cruz et al, 2013

No que diz respeito ao isolamento este devera prevenir perdas por efeito condutivo, logo esta sujeito a leis de transferência térmica por condutividade, esta diz que o fluxo de calor (Q) que passa duma zona de maior temperatura para outra de menor temperatura dá-se pelo produto entre o coeficiente de transferência térmica (K) que varia de material para material e a razão entre a diferença térmica (ΔT) sobre a espessura da camada isoladora (L), tal formula é apresentada abaixo (Duffie, 2013).:

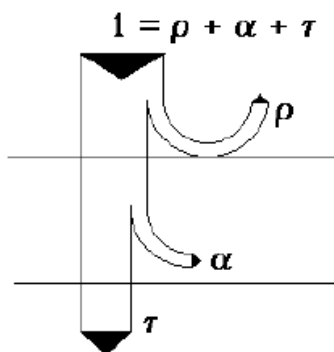
$$Q = K \cdot \Delta T / L \quad (7)$$

De salientar que nesta fórmula a parcela mais importante é o coeficiente de transferência térmica que irá determinar se o material é um isolante ou um condutor, visto isso a que se selecionar materiais que tenham um baixo coeficiente visto que estes são os isolantes térmicos (Brito, 2014),

Normalmente as matérias mais utilizados na indústria atualmente são aglomerados de cortiça, la de vidro ou de pedra e ate mesmo o esferóide. Todos estes apresentam como já referido um baixo coeficiente de transferência térmica o que os torna metais de eleição para se utilizar nestas tecnologias (Brito, 2014).

Para se analisar e dimensionar a cobertura deve-se ter em conta a seletividade do vidro ou do material selecionado assim como as suas características físicas como a sua absorvância (α), transmitância (τ) e refletancia (ρ) que são parâmetros que irão definir a quantidade de radiação disponível para os efeitos de aquecimento do fluido de trabalho (Duffie, 2013)..

Figura 10: Efeitos físicos de transição térmica num vidro seletivo



Fonte: Cruz et al, 2013

Assim de toda a radiação incidente no topo do painel esta é repartida pelos três fenómenos respeitando a seguinte formula (Duffie, 2013).:

$$1 = \rho + \tau + \alpha \quad (8)$$

Sendo que a refletancia é a parcela refletida pela superfície do vidro, a absorbância é a parte que é retida na própria superfície do material e por fim a transmitância como já diz o nome é toda a energia térmica que transpassa o material. Destes três a absorbância e a transmitância são os mais importantes pois são estes que serão passados ao fluido (REN21, 2016).

Por fim a placa absorsora onde teremos os tubos de conduta de fluido e uma das partes mais importantes do painel pois este é onde ocorre a transferência térmica para o fluido de trabalho (REN21, 2016).

Aqui deveremos ter em conta os processos de radiação térmico e convecção que são os efeitos que comandam a transferência nestas condições. Para estes cálculos utilizar-se-á as seguintes formulas (Duffie, 2013).:

$$Q = A * h * (T_2 - T_1) \quad (9)$$

Sendo que Q representa a transferência térmica por radiação que se da pelo produto entre a área (A) das superfícies sendo estas o vidro e a placa com o coeficiente de transferência térmica por radiação que iremos retratar isoladamente devido a sua importância e a diferença de temperatura das superfícies (Sousa, 2003).

Já o coeficiente de radiação (h) é um parâmetro que envolve a constante de boltzman (σ), a emissividade (ϵ) e a diferença de temperatura entre os meios envolvidos. A utilização deste modelo de fórmula permite ignorar cálculos de convecção visto que estes já ficam automaticamente absorvidos nesta fórmula apresentada. Assim sendo abaixo a fórmula de coeficiente de transferência por radiação (Duffie, 2013). :

$$h=(\sigma(T_2^2+T_1^2)(T_2+T_1))/(1-\varepsilon_1/\varepsilon_1)+1/F_{12}+((1-\varepsilon_2)A_1/\varepsilon_2A_2) \quad (10)$$

Chegando a placa aplica-se agora três fórmulas fundamentais que irão fornecer a quantidade de energia térmica que é passada para o fluido, estas são conhecidas pelos formulas de Nusselt, Prandelt e Rayleigh abaixo apresentados e devidamente legendados (Duffie, 2013).

Para a fórmula de Nusselt relaciona-se ao coeficiente de transferência de calor por convecção (h), o espaçamento da placa (L) e a condutividade térmica da placa (K) (Duffie, 2013).

$$Nu=hL/K \quad (11)$$

Já o cálculo de Rayleigh é dado pela interação entre a constante gravitacional (g), o coeficiente de expansão volumétrica (β'), a variação de temperatura entre placas (ΔT), o espaçamento da placa (L) sobre a viscosidade cinemática (v) e a difusão térmica (α) (Duffie, 2013)..

$$Ra=(g*\beta'*\Delta T*L)/v*\alpha \quad (12)$$

Por fim o número de Prandelt que relaciona a viscosidade cinemática com a difusão térmica.

$$Pa=v/\alpha \quad (13)$$

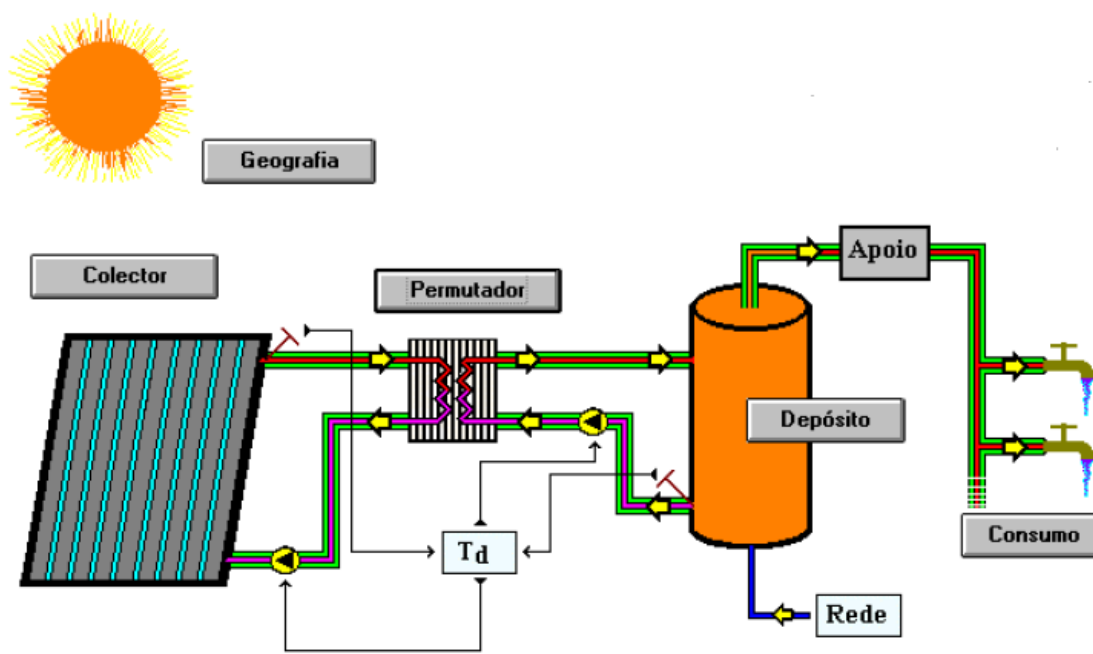
O número de Nusselt é possível de ser relacionado com o número de Rayleigh facilitando se obter o coeficiente de transferência de calor por convecção que apos isso só resta aplicar a fórmula básica de transferência de calor (Duffie, 2013)..

Seguindo esta ordem pode-se então saber a quantidade de energia que ira chegar ao nosso fluido passando por todas as etapas de transferência térmica, e levando em conta as perdas nos mesmos (Sousa, 2003).

1.5.Composição de um Sistema Solar Térmico

Um sistema solar térmico não é composto apenas pela placa solar, mas por um conjunto de mecanismos apresentados abaixo na figura.

Figura 11: Componentes de um Sistema Solar



Fonte: Cruz et al, 2013

Neste sistema pode-se observar que os principais componentes são (Juan, 2005):

- O painel solar térmico que tem por objetivo captar a radiação solar e a transmitir a água sob forma de calor;
- O permutador ou *boiler* onde se dá a troca térmica entre a água fria e a quente;
- O depósito que muitas vezes é equipado com uma resistência térmica de forma a manter a temperatura sempre quente caso o sistema não seja cíclico;

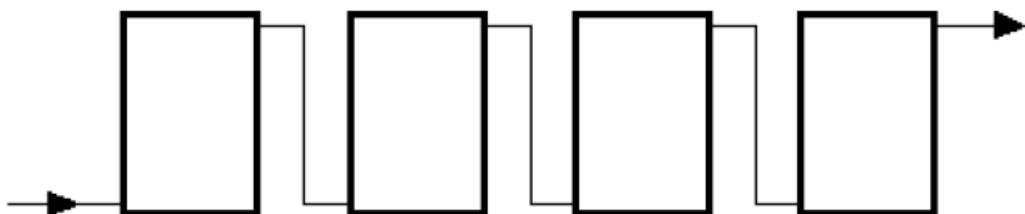
A estes pode-se também adicionar um sistema de *flashing* que irá de tempo em tempo aplicar uma rápida variação na temperatura da água no reservatório evitando assim o surgimento de doenças e bactérias (Juan, 2005).

Também de demarcar as bombas e sensores que são usados para controlar o sistema e obrigar o fluxo de água neste (Juan, 2005).

Quanto a tipologia de ligação dos painéis estes poderão ser associados em serie ou em paralelo aumentando assim a temperatura final de saída (Juan, 2005).

Num sistema em serie a água é obrigada a passar por toda a serpentina interna dos painéis ganhando uma grande quantidade de calor e o caudal de circulação é o mesmo para todos os painéis como se pode observar na seguinte imagem (Juan, 2005).

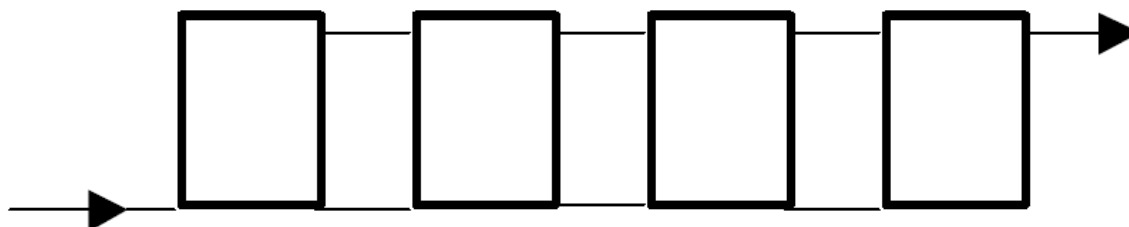
Figura 12: Ligação de painéis em serie



Fonte: Cruz et al, 2013

Já na configuração em paralelo pode-se obter um grande ganho, mas diminuindo o percurso de saída da água e em alguns casos o caudal não é necessariamente o mesmo. A figura abaixo demonstra tal tipologia (Juan, 2005).

Figura 13: Associação de painéis em paralelo



Fonte: Cruz et al, 2013

1.6.Caracterização dos Painéis Quanto ao Porte

O sistema de energia solar térmica pode ser classificado quanto ao seu porte, ou seja, quanto ao consumo diário de água aquecida (Juan, 2005). É classificado da seguinte forma:

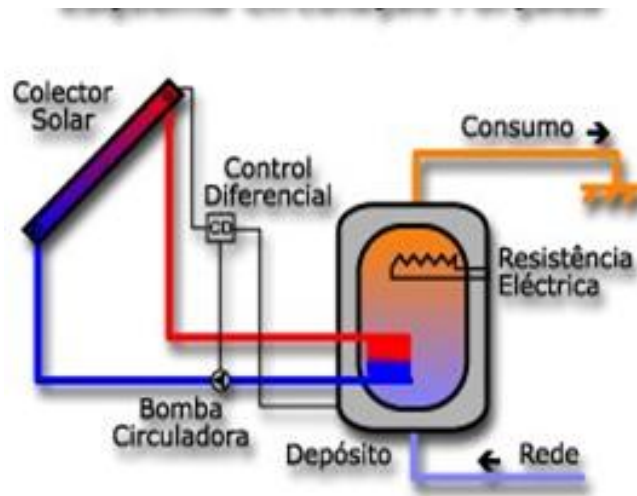
- **Pequeno porte:** As instalações de pequeno porte possuem volume diário de armazenamento de até 1500 litros. O funcionamento do sistema é idêntico ao explicado acima, considerado o funcionamento por termossifão, onde a circulação da água pelos tubos é ordenada pela densidade da água.
- **Médio porte:** São as instalações com capacidade de armazenamento maiores que 1500 litros e inferiores a 5000 litros. Neste tipo de sistema o funcionamento por termossifão já não é o suficiente, sendo necessário adicionar no sistema uma bomba hidráulica para impulsionar a circulação da água.
- **Grande porte:** As instalações de grande porte são as que possuem capacidade de armazenamento superiores a 5000 litros. Também necessitam da instalação de uma bomba hidráulica para impulsionar a circulação da água pela tubulação do sistema.

Também a que se distinguir os painéis quanto a tipologia de circulação de água no sistema, e destes destacam-se a circulação forçada e Termossifão (Duffie, 2013)..

Na circulação forçada por haver uma grande quantidade de água ou por não existir efeito gravítico esse obrigado a utilizar eletrobombas para obrigar o fluido a circular no circuito, a imagem abaixo ilustra este sistema (Duffie, 2013)..

A grande desvantagem deste sistema é a necessidade de se utilizar a eletrobomba que ira requerer energia elétrica o que em certas circunstâncias poderá inviabilizar o sistema (Juan, 2005).

Figura 14: Método de Circulação Forçada

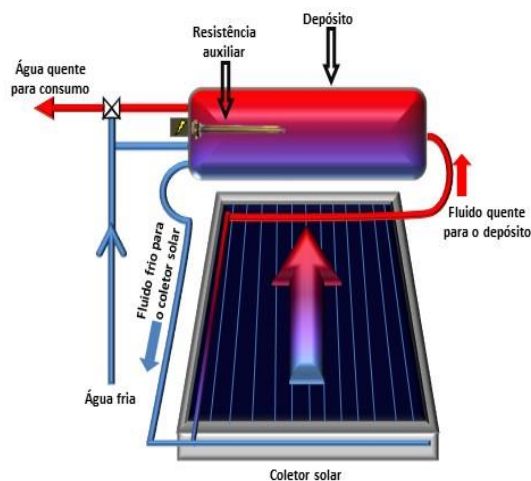


Fonte: Google Imagens, 2019

No sistema de Termossifão já o processo de circulação é realizado de forma natural por efeito de convecção, onde a água fria que entra por baixo força a elevação da água quente na tubulação criando um fluxo dentro do painel (Duffie, 2013)..

Este é o sistema mais utilizado devido a sua simplicidade e baixo custo, além de ocupar pouco espaço e não recorrer a mecanismos para forçar o fluido. A imagem abaixo demonstra o sistema (Juan, 2005).

Figura 15: Tipologia de Termossifão



Fonte: Google Imagens, 2019

1.7. Métodos de Dimensionamento de Sistemas Solares Térmicos

Segundo Duffie et al, (2013), para o devido dimensionamento de sistemas solares térmicos deve-se ter em consideração alguns aspetos como:

- A Quantidade de água a ser aquecida;
- A disponibilidade de radiação solar na área;
- O caudal de utilização da água a ser aquecida;
- A temperatura requerida;
- Parâmetros de segurança exigidos;

Assim sendo, alguns cálculos foram desenvolvidos de forma a garantir que tais parâmetros sejam atingidos com satisfação. Primeiro a que se definir as necessidades de água aquecida no local de estudo (Brito, 2014).

Normalmente deve-se estipular um quadro de consumo levando em conta a quantidade de água consumida por dia e uma média instantânea de forma a se conseguir obter um caudal de saída e assim dimensionar-se o painel solar térmico (Fonseca, 2018).

Já o caudal (Q) que é volumétrico é dado pela seguinte formula (Brito, 2014):

$$Q=S*L/T \quad (14)$$

Onde temos a secção (S), o Comprimento (L) e a unidade de tempo (T).

Apos definir-se o consumo e o caudal de saída deve-se definir os parâmetros de temperatura que o sistema devera funcionar, de salientar que este ponto é de extrema importância pois definira parâmetros de conforto térmico e também ira prevenir o surgimento de bactérias e doenças como a legionela (Fonseca, 2018).

Assim segundo Carolina Correia, (2018), para se efetuar o dimensionamento do sistema deve-se levar em conta os seguintes cálculos:

Inicialmente deve-se efetuar o cálculo do volume de água quente consumida diariamente. Tal volume pode variar em função do caudal das peças de utilização, tempo médio e frequência de uso. O volume para consumo é definido pela seguinte expressão:

$$V_{consumo} = \sum (Q_{pu} \times T_u \times \text{frequência de uso}) \quad (15)$$

Onde:

- **V consumo:** é o volume total de água quente consumido diariamente (m³);
- **Qpu:** Caudal da peça de utilização (m³/s);
- **Tu:** tempo médio de uso diária da peça de utilização (s);
- **Frequência de uso:** é o número total de utilização de peças por dia.

O volume do sistema de armazenamento é definido pela seguinte expressão:

$$V_{armaz.} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})} \quad (16)$$

Onde:

- **V armazen:** é o volume do sistema de armazenamento do SAS (m³). Sugere-se que o volume de armazenamento seja maior ou igual a 75% do volume de consumo;
- **T consumo:** é a temperatura de consumo de utilização (°C). Sugere-se a utilização de 40°C;
- **T armazen:** corresponde a temperatura de armazenamento da água (°C). Sugere-se que a temperatura de armazenamento seja igual ou maior do que a temperatura de consumo;
- **T ambiente:** é a temperatura média anual do local de instalação;

Deve-se ainda calcular a necessidade útil de energia, de acordo com a seguinte expressão:

$$E_{\text{útil}} = \frac{V_{\text{armaz}} \times \rho \times Cp \times (T_{\text{armaz}} - T_{\text{ambiente}})}{3600} \quad (17)$$

Onde:

- **Eútil:** é a energia útil, expressa em kilowatts hora por dia (kWh/dia);
- **p:** corresponde a massa específica da água igual a 1000 (kg/m³);
- **Cp:** é o calor específico da água igual a 4,18 (Kj/Kg);

Para finalizar, basta efetuar o cálculo da área coletora, para que desta forma possa ser definido em função do modelo da placa e quantas placas serão necessárias no projeto.

O cálculo da área coletora é definido em função da seguinte expressão:

$$A_{\text{coletora}} = \frac{(E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}) \times FC_{\text{instal}} \times 4,901}{PMDEE \times I_G} \quad (18)$$

Onde:

- **Acoletora:** é a área coletora (m²);
- **Ig:** é o valor da irradiação global média anual para o local da instalação (kWh;m².dia);
- **Eperdas:** é o somatório das perdas térmicas dos circuitos primário e secundário (kWh/dia), calculada pela soma das perdas ou pela equação:

$$E_{\text{perdas}} = 0,15 \times E_{\text{útil}} \quad (19)$$

- **PMDEE:** é a produção média diária de energia específica do coletor solar (kWh/m²), expressa pela equação.

$$PMDEE = 4,901 \times (Fr \tau \alpha - 0,0249 \times Fr_{UL}) \quad (20)$$

Considerando um modelo específico de coletor solar, o PMDEE pode ser dimensionado da seguinte maneira.

$$PMDEE = 4,901 \times (0,83 - 0,0249 \times 7,110) = 3,2 \text{ kWh/m}^2 \quad (21)$$

FC_{instal}: é o fator de correção para a inclinação e orientação do coletor solar dado pela equação:

$$F_{C_{Instal}} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{ótimo})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]} \quad (22)$$

De salientar que este é um modelo de calculo manual, mas que existem outros modelos de calculo e também no decorrer do trabalho irá se utilizar o *software Retscreen* para auxiliar os cálculos de dimensionamento.

CAPÍTULO III – ESTUDO DE CASO

Este é o capítulo primordial no projeto e é onde se irá realizar todos os cálculos e toda a ideia de projeto que se propôs para este TCC.

Assim sendo este capítulo irá estar subdividido em:

- Exposição da ideia de projeto;
- Caracterização geográfica do local do projeto;
- Caracterização da carga de consumo;
- Dimensionamento manual;
- Dimensionamento em Retscreen;
- Análise Financeira em Retscreen;
- Resultados Obtidos;
- Elaboração do Protótipo;
- Resultados obtidos no Protótipo;
- Vantagens e Desvantagens do protótipo;

Com isso espera-se alcançar os objetivos determinados para o projeto. De lembrar que a cada um destes pontos poderão ter outros subcapítulos internos.

2. Exposição da Ideia de Projeto

A ideia principal do projeto é dimensionar um painel solar térmico de forma a suportar o consumo de água quente numa residência familiar, e para isso irá se realizar os cálculos de dimensionamento e selecionar um modulo compatível com os resultados obtidos.

Para este dimensionamento irá se recorrer a tipologias de calculo manual e ao software Retscreen, de forma a reforçar os resultados e ter uma forma de contrapor os resultados obtidos.

Com os resultados irá se procurar um modulo compatível e analisar os seus custos.

Após isso irá se montar um protótipo baseado nos resultados obtidos pelo *Retscreen*, este será feito com recurso a materiais reciclados e alguns materiais próximos aos ideais.

De salientar que os cálculos financeiros do projeto serão baseados neste protótipo pois este é o ponto fulcral do projeto e onde se investiu os recursos para elaboração do mesmo.

Por será feito uma recolha dos resultados obtidos com o protótipo e contrapô-los aos sistemas ideais e ver qual a sua viabilidade técnica fase aos outros modelos.

2.1.Caracterização Geográfica do local do Projeto

O projeto será realizado em Cabo Verde país localizado no hemisfério Norte, na costa ocidental Africana e banhada pelo oceano Atlântico, mas precisamente nas coordenadas de entre os 14° 23' e os 17° 12' de latitude e os 22° 40' e os 25° 22' de longitude.

O arquipélago é caraterizador por ter origem vulcânica, sofrer a interação de ventos alísios provenientes do Deserto Sahara, e ter condições de Radiação solar muito propicias a exploração do recurso solar. Abaixo uma imagem do arquipélago.

Figura 16: Arquipélago de cabo verde



Fonte: Google Imagens⁷, 2019

⁷ Weblink:

<https://www.google.com/search?q=arquipelago+de+cabo+verde&tbm=isch&source=univ&sa=X&ved=2ahUKEwiS8JDnh7fkAhX66OAKHUsoAqQQsAR6BAgDEAE#imgrc=m5ToSEgybq9UuM:>

O projeto em si irá se localizar em São Vicente, cidade do Mindelo na zona de Maderalizinho. São Vicente caracteriza-se pela sua pequenez e grande densidade populacional face as restantes ilhas do arquipélago, ela contém cerca de 227 Km², situado a latitude de 16° 50' N e longitude de 24° 57 W e na Figura 17 pode-se ter uma noção real das dimensões da ilha.

Figura 17: Ilha de São Vicente



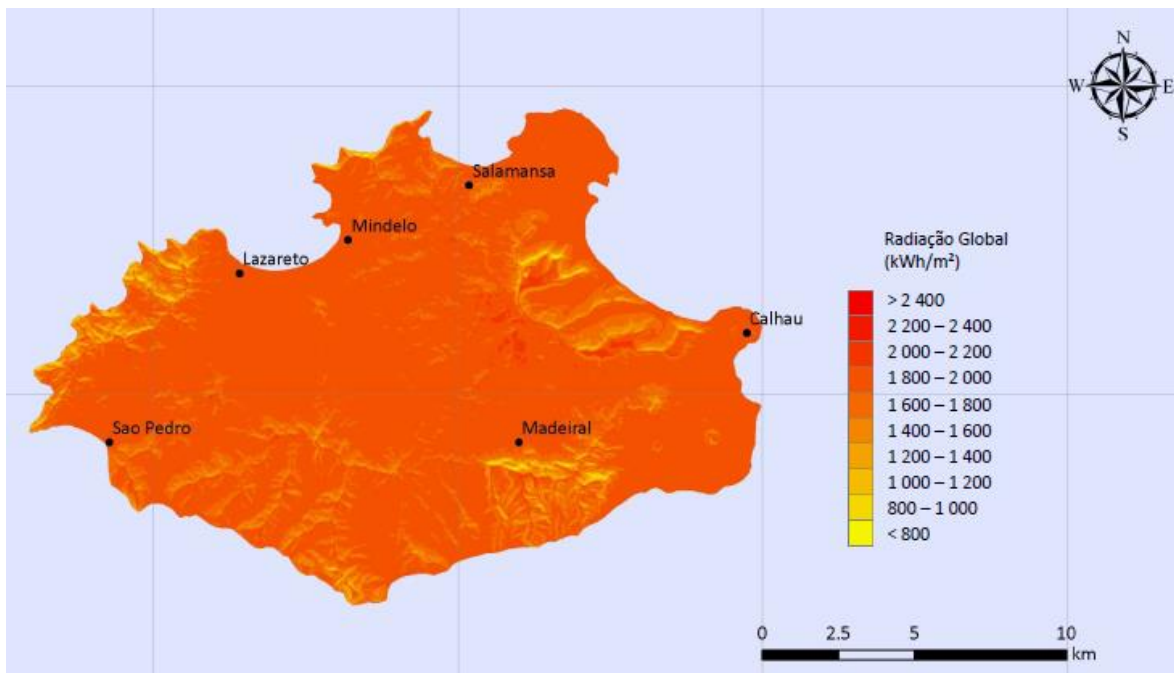
Fonte: Google maps⁸, 2019

No que diz respeito a demografia da ilha, segundo a I.N.E, (2018) São Vicente conta com 81 890 habitantes sendo que a maioria se encontra no centro urbano. Isso também faz com que a ilha seja a segunda mais habitada do arquipélago, ficando apenas atrás da ilha de Santiago.

De acordo com o Atlas de Energias Renováveis de Cabo Verde, (2011), a radiação global anual em São Vicente é superior a 6.5 KWh e tal pode ser observado na Figura 18 a distribuição da radiação na ilha nos diferentes meses encontram-se em Anexo.

⁸ Weblink: <https://www.google.com/maps/@16.8961975,-24.9828068,285m/data=!3m1!1e3>

Figura 18: Radiação anual disponível na ilha



Fonte: Atlas das Energias Renováveis de Cabo Verde, 2011

Pode-se observar que a radiação anual disponível para a ilha é praticamente uniforme em todas as áreas da ilha o que favorece a sua exploração, também um ponto forte é a sua forte intensidade.

Também pode-se observar pela figura que não existe grandes variações da intensidade da radiação com as estações do ano, e sendo assim poderá se obter bons resultados tanto no verão como no inverno.

Estes dados foram reforçados com a tabela abaixo que demonstra a intensidade da radiação solar e a intensidade do vento na ilha, esta tabela foi retirada da base de dados do Retscreen.

Tabela 1: Dados da Ilha de São Vicente

Mês	Temperatura do Ar	Humidade relativa	Precipitação	Radiação solar diária - horizontal	Pressão Atmosférica	Velocidade do Vento	Temperatura do Solo	Graus-dia para aquecimento 18 °C	Refrigeração graus-dias 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Janeiro	21.7	75.0%	28.21	4.63	101.4	7.3	23.0	0	363
Fevereiro	21.3	77.8%	17.36	5.49	101.4	7.2	22.4	0	316
Março	21.5	78.7%	10.85	6.57	101.3	6.7	22.7	0	357
Abril	22.1	79.6%	10.80	7.61	101.3	6.8	23.2	0	363
Mai	22.7	81.6%	6.51	7.76	101.4	6.9	23.5	0	394
Junho	23.6	83.2%	6.00	7.22	101.4	6.4	24.2	0	408
Julho	24.6	82.3%	8.06	6.70	101.3	5.1	25.3	0	453
Agosto	25.8	82.2%	28.83	6.08	101.2	5.0	26.4	0	490
Setembro	26.4	82.6%	36.30	6.02	101.2	5.6	26.9	0	492
Outubro	26.0	80.5%	26.66	5.43	101.2	6.0	26.7	0	496
Novembro	24.7	78.3%	30.30	4.78	101.2	6.1	25.8	0	441
Dezembro	22.9	76.2%	33.17	4.27	101.3	6.7	24.3	0	400
Anual	23.6	79.8%	243.05	6.05	101.3	6.3	24.5	0	4 972
Fonte	Solo	NASA	NASA	Solo	Solo	NASA	NASA	Solo	Solo
Medido a					m	10	0		

Fonte: Retscreen, 2019

A partir da tabela pode-se então verificar uma fraca variação da intensidade da radiação solar tendo o seu mínimo no mês de dezembro com 4,27KW/m²/d e um máximo no mês de maio com 7,76KW/m²/d.

Outro ponto importante é que a base de dados do Retscreen busca informações na NASA, o que viabiliza em muito os seus dados e facilita os cálculos além de conceber-lhes uma grande veracidade.

2.2. Caraterização da Carga de Consumo

O local de estudo é uma residência familiar onde reside três pessoas, na zona de madeirazinha. O edifício de estudo contém uma casa de banho e uma cozinha, pontos esses que servem de base para o estudo a ser realizado.

Abaixo uma imagem de satélite demonstrando a localização exata do edifício em causa.

Figura 19: Localização do Edifício



Fonte: Google maps, 2019

Abaixo apresentou-se uma tabela com os valores de consumo de forma a estipular os primeiros parâmetros de consumo para o dimensionamento.

Tabela 2: Consumo do Edifício

Pontos de Consumo	Quant. Unit (L)	Nº Utiliz.	Pessoas	Quant. consumida (L)
Lavatório	1.25	3	3	11.2
Chuveiro	7	3	3	63
Pia de Cozinha	3	3	3	27
Total				101.2

Fonte: *Elaboração Própria, 2019*

Assim estabilizou-se um consumo de 0.101 m³/d que servira de base para elaboração dos cálculos de dimensionamento do painel.

A tabela assim diz respeito a fórmula de consumo de água total do edifício, a mesma formula apresentada no estado da arte abaixo demonstrada novamente:

$$V_{consumo} = \sum (Q_{pu} \times T_u \times \text{frequência de uso})$$

Tendo já o consumo caracterizado passa-se agora ao dimensionamento do sistema a ser implementado.

2.3.Dimensionamento Manual do Pannel

De Seguida utilizar-se-á o modelo de dimensionamento proposto no estado da arte, sendo assim já definido os pontos e valores de consumo passa-se agora a determinação dos valores de volume de armazenamento.

Assim aplica-se a seguinte fórmula:

$$V_{armaz.} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})}$$

Para este cálculo definiu-se os seguintes parâmetros:

Tabela 3: Parâmetros de calculo de Volume de Armazenamento

Símbolo	Definição	Valor
Vcons	Volume consumo	101.2
Tcons	Temperatura consumo	40
Tamb	Temperatura ambiente	25
Tarmanz	Temperatura armazenamento	60

Fonte: Elaboração Própria, 2019

Aplicando a fórmula e os parâmetros estipulados obteve-se o volume de armazenamento de 43.4 L, cerca de 42% do consumo total.

De seguida deve-se calcular a energia útil de forma a elevar a temperatura aos parâmetros estipulados, para tal irá se utilizar as seguintes formulas:

$$E_{util} = \frac{V_{armaz} \times \rho \times Cp \times (T_{armaz} - T_{ambiente})}{3600}$$

Os parâmetros e valores a serem utilizados encontram-se na tabela abaixo:

Tabela 4: Valores de calculo de Energia Útil

Símbolos	Designação	Valores
Varmanz	Volume de armazenamento	43.4 L
ρ	Massa especifica da água	1000 kg/m ³
Cp	Calor específico da água	4,18 Kj/Kg
Tarmanz	Temperatura armazenamento	60°C
Tambien	Temperatura ambiente	25°C

Fonte: elaboração Propria, 2019

Assim obtém-se como resultado para o cálculo de energia útil o total de 1 763.7 Wh/d, o que representa uma radiação media de 1.76KW por hora por dia, valor este que é mais que abundante na região de implementação do projeto.

Para o cálculo de área do coletor, irá se utilizar as seguintes formulas:

$$A_{coletora} = \frac{(E_{util} + E_{perdas}) \times FC_{instal} \times 4,901}{PMDEE \times I_G}$$

Os valores e parâmetros utilizados nestes cálculos estão apresentados abaixo na tabela:

Símbolo	Designação	Valores
Eutil	Energia útil	1.76 KW
Eperdas	Energia perdas	0.26 KW
FCinstal	Fator de correção para a inclinação e orientação do coletor solar	1
Ig	Irradiação media anual do local	6.5 KWh/d
PMDEE	Produção média diária de energia específica do coletor solar	3.2 KWh/m ²

Fonte: Elaboração Própria, 2019

Onde :

$$E_{perda} = 0.15 * E_{util}$$

$$PMDEE = 4.901 * (Fr_{ta} - 0.0249 * Fr_{ul})$$

$$I_g = 1 / [1.2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{ótimo})^2 + 3.5 * 10^{-5} * \gamma^2]$$

Para as excelentes quantidades de radiação solar existentes no local de implementação do projeto e tendo em conta que a necessidade de água quente são baixas obteve-se um valor de área de 0.48m².

Em forma de resumo os resultados obtidos estão apresentados na tabela abaixo:

Tabela 5: Resultados obtidos do dimensionamento

Símbolo	Designação	Valores
Vconsu	Volume consumo	101.2 L
Varman	Volume armazenamento	43.4 L
Eutil	Energia útil	1.76KW
Ac	Área coletor	0.48 m ²

Fonte: Elaboração Própria, 2019

A seguir passa-se para o selecionamento de um modulo solar térmico compatível com os resultados obtidos. Este modulo servirá como exemplo de comparação com o protótipo e também como resultado do dimensionamento manual realizado.

Assim selecionou-se o modulo solar térmico Vulcano F1 TS150-1E com uma capacidade de 150 litros tipologia termossifão, e com um custo de 158 782 ECV.

Este vem equipado com os seguintes componentes:

- Coletor solar para instalação na vertical (FCC-2S);
- Deposito de acumulação de cor cinza, de dupla envolvente de 145 l de capacidade útil, com possibilidade de apoio elétrico (TS 150-1E) e vaso de expansão incorporado;
- Kit de acessórios de ligação, com tubagens em EPDM reforçadas com nylon (WFS 61-150/300);
- Estrutura de suporte para telhado plano e vento normal, fabricada em alumínio (WSF 2);

Abaixo a imagem do modulo selecionado:

Figura 20: Modulo Solar Vulcano



Fonte: Vulcano⁹, 2019

Tendo este modulo e levando em comparação um termoacumulador elétrico de 1.5 KW poderá se obter o tempo de amortecimento do investimento relacionando a razão entre o preço do modulo sobre o gasto do termoacumulador durante 5 anos que é o tempo de vida útil deste mais o seu custo inicial.

$E_{\text{consumida}} = \text{Potencia} * \text{Horas Utiliz} * \text{Dias do mês}$

$E_{\text{cons}} = 1.5 \text{ KW} * 2 \text{ h} * 30$

$E_{\text{cons}} = 90 \text{ KWh/mês}$

Isto dará um custo mensal de:

$\text{Custo Energia} = E_{\text{cons}} * 33\$00/\text{KWh}$

$\text{Custo Energia} = 90 \text{ KWh/mês} * 33\$00/\text{KWh}$

$\text{Custo Energia} = 2\,970\$00/\text{mês}$

Logo o amortecimento calcula-se então pela expressão:

⁹ Weblink: <http://solarcondicionado.pt/files/price-tables/Tabela-Precos-Paineis-Solares-VULCANO-2014.pdf>

Amortecimento = $\text{Custo Modulo} - \text{Custo Termo} / \text{Custo Energia}$

Amortecimento = $158\,782\$00 - 12\,350\$00 / 2\,970\$00 = 49 \text{ meses} = 4 \text{ anos}$

Sendo assim teremos um período de quatro anos para amortecer o investimento realizado num sistema que iria suportar a carga de consumo.

2.4. Dimensionamento Técnico e Financeiro no Retscreen

Para reforçar o dimensionamento realizado manualmente optou-se por realizar outro no software Retscreen, porém para este irá se utilizar os dados do modulo criado como protótipo.

Este Software foi desenvolvido no Canada e é uma forte ferramenta de dimensionamento, principalmente na vertente financeira.

Como primeiro passo deve-se introduzir os dados relativos ao consumo e aos dados característicos do modulo solar térmico, também deve-se introduzir valores relativos a disponibilidade da radiação solar da região. Abaixo na figura pode-se observar estes valores introduzidos no Retscreen:

Figura 21: Dados inseridos no Retscreen

Água quente - Método 1

	Caso de referência	Caso proposto	Economia de energia
<input checked="" type="checkbox"/> Tipo de carga - calculadora			
Número de unidades	Ocupante	Casa	
Taxa de ocupação	%	3	
Uso diário de água quente - estimado	L/d	100%	
Água quente utilizada	L/d	180	
Temperatura	°C	101	
Método de avaliação da temperatura de alimentação	°C	40	
Temperatura da água - mínima	°C	Fórmula	
Temperatura da água - máxima	°C	22.8	
Horas de operação	h/d	24.6	
Taxa de recuperação de calor	%	6	
<input type="checkbox"/> Percentual de utilização do mês		6	
Custo inicial incremental	\$		
Custo inicial incremental - outro	\$		
Custo inicial incremental - total	\$	0	
Economia de operações e manutenção incremental	\$		
Sistema de Aquecimento	Aquecedor de água	Aquecedor de água	
Aquecimento	kWh	176	0
		176	0%

Fonte: Extraído Retscreen, 2019

Como segundo passo segue-se a inserção dos dados técnicos do modulo solar térmico e seus parâmetros. Estes estão expostos na figura abaixo:

Figura 22: Caraterísticas técnicas do painel solar térmico

Aquecedor solar de água

Características da carga

Água quente + - Água quente

Temperatura °C 40

Aquecimento kWh 176

Avaliação de recursos

Sistema de posicionamento solar Fixo

Inclinação ° 16

Azimet ° 0

Mostrar dado

Aquecedor solar de água

Tipo Vitrificado

Fabricante ACR Solar International

Modelo Skyline 10-01

Área bruta por coletor solar m² 0.933

Área de Captação por coletor solar m² 0.847

Coefficiente Fr (tau alpha) 0.602

Coefficiente Fr UL (W/m²)/°C 3.764

Coefficiente de Temperatura de Fr UL (W/m²)/°C² 0

Número de coletores - sugerido 1

Número de coletores 1

Área do coletor solar m² 0.93

Capacidade kW 0.59

Perdas diversas %

Fonte: Extraído do Retscreen, 2019

De seguida introduziu-se os dados relativos ao armazenamento, dados de aquecimento e o investimento feito no modulo, de relembrar que o modulo utilizado no software foi o do protótipo, e assim como os seus custos.

Assim estes encontram-se apresentados na figura abaixo.

Figura 23:Dados relacionados ao modulo e custos associados

Balanco do sistema e misc.

Armazenamento	sim/não	Sim	
Capacidade de armazenamento / area do coeto	L/m ²	51	
Capacidade de armazenamento	L	43.2	
Trocador de calor	sim/não	Não	
Perdas diversas	%		
Potência da bomba / área do coletor solar	W/m ²		
Preço da eletricidade	\$/kWh	33	
Custos iniciais	\$	11 582	\$
Custo de operações e manutenção (economia)	\$		

Resumo

Demanda de eletricidade - bomba	kWh	0
Economia de energia	kWh	176
Fração solar	%	100%

Fonte: Extraído do Retscreen, 2019

Apos isso obteve-se os restantes dados fornecidos pelo Retscreen que diz respeito aos dados técnicos e financeiros. Assim primeiro apresenta-se os dados financeiros obtidos.

Figura 24: Dados financeiros obtidos no Retscreen

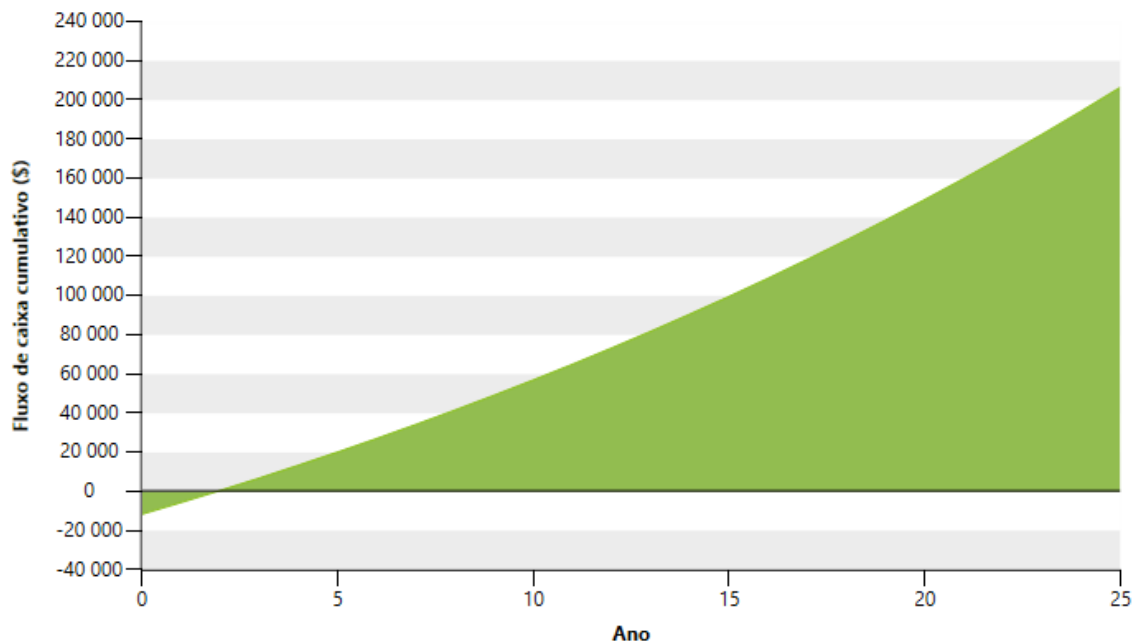
Análise financeira		
Parâmetros financeiros		
Taxa de inflação	%	3%
Vida do projeto	ano	25
Razão da dívida	%	0%
Total de custos de investimento	\$	11 582
Incentivos e subsídios	\$	
Pagamento anual de custos e empréstimos		
Custo de operações e manutenção (economia)	\$	0
Pagamento da dívida	\$	0
Total de custos anuais	\$	0
Economia e receita anual		
Custo combustível - caso de referência	\$	5 812
Receita pela redução de GEE	\$	0
Outras receitas (custo)	\$	0
Total de economia e receita anual	\$	5 812
Viabil. Financeira		
TIR antes impostos - ativos	%	54.7%
Retorno simples	ano	2
Retorno do capital próprio	ano	1.9

Fonte: Extraído do Retscreen, 2019

Pode observar-se que o TIR é de 54.7% e o retorno será de 2 anos, lembrando que esta diferença acentuada do cálculo manual acontece devido a diferença de módulos utilizados.

Também a partir do Retscreen pode-se obter o gráfico de fluxo cumulativo, que se apresentou-se abaixo.

Figura 25: Gráfico de Fluxo Cumulativo



Fonte: Extraído do Retscreen, 2019

Assim resta analisar os resultados obtidos e contrapô-los em comparação com os do dimensionamento manual.

Resultados Finais

Como forma de resumir e melhor entender os resultados obtidos no trabalho optou-se por elaborar uma tabela com os resultados obtidos tanto do dimensionamento manual como no Retscreen.

Assim também será possível observar-se as variações dos resultados obtidos.

Tabela 6: Resultados finais

Designação	Dimensionamento Manual	Retscreen
Volume Consumo	101.2 Litros	101.2 Litros
Volume Armazenamento	43.4 Litros	43.4 Litros
Energia Útil	1.76 KW	0.53 KW
Área Coletor	0.48 m ²	0.99 m ²
Investimento	158 782 ECV	11 582 ECV
Amortecimento	4 anos	2 anos

Fonte: Elaboração Própria, 2019

Pode-se então observar pela tabela que o resultado do dimensionamento manual é naturalmente superior ao do Retscreen pelo facto de o manual utilizar maquinaria de ponta com módulos solares profissionais e seus restantes equipamentos o que aumenta drasticamente o seu valor final e também o seu tempo de amortecimento.

Já os resultados do retscreen demostram a necessidade de uma área de coletor maior visto a qualidade dos materiais de fabrico do protótipo e também um preço muito reduzido assim como o seu amortecimento tudo derivado da utilização de grande parte de materiais reciclados.

2.5.Construção do Protótipo

Para uma maior compreensão do objeto de estudo deste TCC optou-se pela elaboração de um protótipo que teria a capacidade de aquecer a água através da radiação solar.

Ou seja, algo que conseguiria não só simular as funções de um painel solar térmico como também respeitar os requisitos técnicos de aquecimento de águas residenciais.

Para isso utilizou-se um leque de materiais para a sua construção sendo alguns desses renováveis de forma a reutilizar estes materiais e evitar que tenham outro fim menos nobre.

Abaixo na tabela apresenta-se a lista de materiais utilizados na elaboração do painel e da caixa de armazenamento.

Tabela 7: Lista de materiais utilizados na construção do prototipo

Designação	Quantidades
Tubulação PVC 22mm	18 m
Curvas T PVC 22mm	20 unid
Curvas L PVC 22mm	8 unid
Válvulas 22mm 0.5'	2 unid
Garrafas de plástico 1.5L	40 unid
Papelão com revestimento impermeável	40 unid
Spray Tinta Preto Fosco	3 unid
Barril Plástico 200L	1 unid
Arduíno Uno	1 unid
Sensor de Nível de Água	1 unid
Sensor de temperatura	4 unid
Electro válvulas 220V 22mm	1 unid
Cola Silicone	1 unid

Fonte: Elaboração Própria, 2019

Assim com os materiais passou-se a construção do protótipo que foi por sua vez montado num ambiente de oficina mecânica, onde se roscou toda a tubulação de forma a se conseguir unir para construir o esqueleto do painel constituído por:

- 10 colunas Verticais de tubo PVC 22mm de 1.20m cada;
- 18 peças Horizontais de PVC 22mm com 10cm cada;
- 20 curvas T de PVC 22mm com rosca de 0.5'';
- 2 válvulas nas extremidades superiores;

As colunas verticais tem a função de transmitir o calor acumulado na tubulação PVC onde circula a água a ser aquecida, estas também poderiam ser feitas de metal, mas optou-se pelo PVC por ser muito barato e muito mais fácil de ser trabalhado, também importante salientar que estes foram pintados de preto fosco de forma a aumentar a sua seletividade.

Abaixo uma imagem elucidativa destas colunas.

Figura 26: Colunas PVC com Garrafs



Fonte: Elaboração Própria, 2019

Sobre estas tubulações foram colocadas garrafas de plástico com a função de criar uma zona de estufa impedindo perdas térmicas, concentrando a radiação assim como a coletando. Estas garrafas foram revestidas com papelão impermeável na parte de baixo das mesmas de forma a evitar perdas no fundo da garrafa, e foram pintadas de preto para que se consiga aumentar a seletividade das mesmas.

Assim aumenta-se a capacidade de ganho térmico e evita-se uma grande refletancia. Abaixo uma imagem destas garrafas.

Figura 27: Garrafa de plástico utilizada como revestimento



Fonte: Google imagens, 2019

Apos isso obteve-se o painel que ficou com um aspeto final apresentado abaixo.

Figura 28: Aspeto final do painel



Fonte: Elaboração Própria, 2019

Este foi ligado a um reservatório construído a partir de um tambor de 200l de plástico e tem por função alimentar o painel com água fria e também acumular a água quente proveniente do mesmo painel, por efeitos naturais e convectivos sabe-se que estas águas não se misturam logo pode ser usado para armazenar estas duas -aguas.

Foram feitos quatro furos sobre o reservatório sendo os dois abaixo responsáveis pela alimentação de água fria do exterior para o reservatório e o outro de alimentação de água fria do reservatório para o painel, já os outros dois na parte superior são destinados a água quente uma para alimentação do reservatório proveniente do painel e outro para alimentar o consumo.

Abaixo uma imagem demonstrando o reservatório, e este foi pintado de preto também para aumentar o ganho térmico assim como para proteger a temperatura interna.

Figura 29: Reservatório



Fonte: Elaboração Própria, 2019

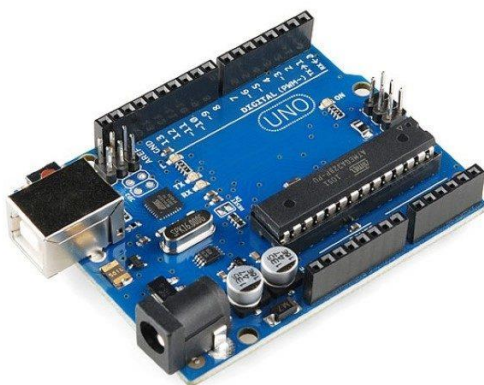
Outro ponto de extrema importância é explicar que o painel funciona com base no efeito de termossifão onde a água fria que entra por baixo por ser mais densa obriga a água quente a elevar-se por ter menor densidade, criando assim uma circulação ascendente no interior do painel.

2.6. Automatização do Painel

De forma a melhor se conseguir controlar os parâmetros do painel e verificar se este funciona devidamente inseriu-se um mecanismo automotivo e de controlo de forma a obter-se leituras de temperatura em diferentes pontos assim como controlar o nível da água e também a alimentação do sistema.

Para isso usou-se um Arduino uno que terá a função de controlar e executar as funções previamente programadas na memória da mesma. Este modelo de Arduino encontra-se na figura abaixo.

Figura 30: Arduino Uno



Fonte: Google imagens, 2019

Como mecanismos de leitura utilizou-se sensores de temperatura submersíveis *one wire* e sensores de nível de água, responsáveis para medir as diferentes temperaturas e o nível de água presente no reservatório. Estes sensores estão apresentados abaixo pela ordem sensor de temperatura, sensor de nível de água.

Figura 31: Sensores temperatura e nível de água



Fonte: Google imagens, 2019

Já os mecanismo de atuação usados foram uma electroválvula que terá por função abrir e fechar a alimentação de agua fria para o reservatório quando este estiver cheio, e um relé de estado solido que tem por função chavear a electro válvula conforme um sinal do Arduino, este relé é necessário pois a electroválvula funciona a 220V AC ou seja não poderá ser alimentada pelo Arduino, por isso faz-se sentir a necessidade deste relé.

O relé e a electro válvula estão apresentados abaixo na mesma ordem

.

Figura 32: Relé estado solido e Electro Válvula



Fonte: Google Imagens, 2019

O código inserido na sua memoria esta abaixo apresentado por forma a se conseguir explicá-lo da melhor forma.

Figura 33: Código de sensores de temperatura para Arduino

<div data-bbox="250 268 342 296" data-label="Text"> <p>DS18B20</p> </div> <pre> //Bibliotecas incorporadas #include <OneWire.h> #include <DallasTemperature.h> #define ONE_WIRE_BUS 3 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); DallasTemperature sensors(&oneWire); DeviceAddress Term1, Term2, Term3, Term4; void setup() { Serial.begin(9600); sensors.begin(); Serial.print("Localizando os sensores..."); Serial.print("Encontrados "); Serial.print(sensors.getDeviceCount(), DEC); Serial.println(" sensores."); if(!sensors.getAddress(Term1,0)) Serial.println("sensor 0 nao localizado "); if(!sensors.getAddress(Term2,1)) Serial.println("sensor 1 nao localizado"); if(!sensors.getAddress(Term3,2)) Serial.println("sensor 2 nao localizado"); if(!sensors.getAddress(Term4,3)) Serial.println("sensor 3 nao localizado"); Serial.print("Sensor 0, Endereço: "); printAddress(Term1); Serial.println(); Serial.print("Sensor 1, Endereço: "); printAddress(Term2); Serial.println(); </pre>	<pre> printAddress(Term3); Serial.println(); Serial.print("Sensor 3, Endereço: "); printAddress(Term4); Serial.println(); } void printAddress(DeviceAddress deviceAddress) { for(int i=0; i<8; i++) { if(deviceAddress[i] < 16) Serial.print("0"); Serial.print(deviceAddress[i], HEX); } } Serial.println(); } void loop() { sensors.requestTemperatures(); float T1 = sensors.getTempC(Term1); Serial.print(T1); Serial.print(" "); float T2 = sensors.getTempC(Term2); Serial.print(T2); Serial.print(" "); float T3 = sensors.getTempC(Term3); Serial.print(T3); Serial.print(" "); float T4 = sensors.getTempC(Term4); Serial.print(T4); Serial.println(); delay(5000); } </pre>
--	---

Fonte: Elaboração Própria, 2019

Pode-se observar que pelo facto de haverem quatro sensores foi-lhes atribuído endereços de forma a facilitar a sua leitura e impressão na linguagem serial, obtendo assim duma só vez todos os valores de temperaturas requeridos.

Os pontos de leitura são o terminal de consumo, a faixa de água quente no reservatório e também de água fria e a saída de água quente do painel.

De seguida apresenta-se o código de leitura de nível de água que ira desbloquear o relé de estado solido e consequentemente abrir ou fechar a electro válvula de alimentação do reservatório.

Figura 34: Código de sensores de nível de água

```
SensorNivel
const int pinoSensor = A0;
const int Valvula = 12;

void setup() {
  //Serial.begin(9600);
  pinMode(pinoSensor, INPUT);
  pinMode(Valvula, OUTPUT);
}

void loop() {
  if(analogRead(pinoSensor) > 690){
    digitalWrite(Valvula, LOW);
  }else{ //SENÃO, FAZ
    digitalWrite(Valvula, HIGH);
  }
}
```

Fonte: Elaboração Própria, 2019

Pode-se observar pelo código que a válvula só é aberta se o sensor enviar um sinal superior a 690, caso contrário a válvula ira se manter fechada e não haverá alimentação do reservatório.

2.7.Custos do Protótipo

Uma parte de extrema importância são os custos com a elaboração deste protótipo, e para que se entenda este da melhor forma optou-se por elaborar uma tabela somatória com os custos de todos os materiais empregues no sistema assim como seu custo final.

Assim poderá se ter uma melhor noção dos valores que se poderão poupar com um sistema do tipo como também justificar os valores inseridos no Retscreen.

Tabela 8: Custos com Protótipo

Designação	Custo
Tubulação PVC 22mm	1785 ECV
Curvas T PVC 22mm	1300ECV
Curvas L PVC 22mm	320 ECV
Válvulas 22mm 0.5'	990 ECV
Garrafas de plástico 1.5L	-
Papelão com revestimento impermeável	-
Spray Tinta Preto Fosco	1036 ECV
Barril Plástico 200L	-
Arduíno Uno	3500 ECV
Sensor de Nível de Água	250 ECV
Sensor de temperatura	400 ECV
Electro válvulas 220V 22mm	-
Outros	2500 ECV
Total	11 861 ECV

Fonte: Elaboração Própria, 2019

2.8. Resultados Finais Obtidos Com o Protótipo

Após um conjunto de testes realizados com o painel obteve-se alguns resultados que foram tratados e inseridos na tabela abaixo juntamente com alguns dados técnicos finais.

Tabela 9: Dados Finais obtidos no Painel

Designação	Valores
Área do painel	1.45m ²
Temperatura de água fria	27°C
Temperatura água quente	56°C
Temperatura água quente reservatório	53°C
Temperatura no consumo	48°C
Custo do painel	11 861 ECV
Amortecimento	2 anos

Fonte: Elaboração Própria, 2019

Observa-se então que o modulo consegue aumentar a temperatura da água fria ate aos 56°C e já dentro do reservatório esta cai para 53°C devido as perdas com a água fria e com as paredes do reservatório. Já ao ponto de consumo devido a tubulação esta chega com uma temperatura de 48°C.

Esta temperatura é de agradável sensação térmica porem não satisfaz do todo os requisitos de aquecimento de águas residenciais devido a baixa temperatura de armazenamento do reservatório, mas este problema poderá ser rapidamente solucionado se acrescentar-se uma resistência térmica de 500W.

2.9. Vantagens e Desvantagens do Sistema fase a um Painel Solar Convencional

Apos a elaboração do protótipo encontrou-se um leque de vantagens e também algumas desvantagens deste modelo fase ao modelo convencional e comercial, então elaborou-se uma lista das mesmas.

Vantagens do protótipo fase aos painéis comerciais:

- Mais barato cerca de 13.7 vezes;
- Fácil manuseamento e construção;
- Fácil de desmontar e também possível aumentar a sua área aumentando o número de colunas;
- Rendimento variável, pois, pode-se aumentar a sua capacidade;
- Materiais menos corrosivos ao ambiente, e que também sofrem menos de corrosão;
- Possível de ser reproduzido em qualquer país ou por qualquer pessoa;
- Preço final de possível venda seria muito baixo tornando-o extremamente competitivo com a concorrência;
- Possível de ser associado com uma resistência térmica e aumentar o seu rendimento final.

Já as desvantagens observadas foram:

- Rendimento baixo em dias de menor radiação e também contem um rendimento inferior aos comerciais derivado dos materiais utilizados;
- Menor período de vida útil derivado da exposição do plástico ao sol;
- Precisa de mais estudos e capacidade técnica para respeitar as diretrizes de produção de água quente;
- Esteticamente mais fraco do que os painéis comerciais;
- Maior quantidade de perdas térmicas.

3. Recomendações Futuras

Durante a elaboração deste trabalho de conclusão de curso deparou-se com alguns pontos que no futuro poderão ser melhorados ou até mesmo pontos para elaboração de um novo trabalho, além de outros pontos que demonstram alguma fragilidade do próprio trabalho e da falta de material para se elaborar um TCC atualmente.

Estes pontos são:

- Pouca bibliografia confiável;
- Biblioteca da universidade precisa aumentar a sua bibliografia nesta área;
- Pouca opção de materiais no mercado local tendo-se que recorrer a lojas online;
- Custo elevado com materiais, a Universidade poderia apoiar mais os alunos neste aspecto;
- Temperaturas obtidas no protótipo inferiores às convencionais, melhoria no estudo dos materiais usados;
- Mais tempo de experimentação e testes de forma a coletar uma maior variedade de resultados melhorando os resultados obtidos;
- Melhoria no sistema de suporte do módulo;
- Aumento da isolamento do painel utilizando materiais isolantes;
- Melhorias técnicas na parte de automação e controle do sistema aumentando a sua autonomia;

Estes foram alguns dos principais pontos observados, mas obviamente que outros deverão ser observados e corrigidos futuramente para melhorar ainda mais a qualidade final deste projeto.

4.CONCLUSÃO

De forma conclusiva foi analisado todos os objetivos gerais e hipóteses colocados a partida de forma a se ter uma noção se tais foram alcançados e se não o porque destes não o serem.

Assim sendo começa-se pelos objetivos gerais e específicos:

Objetivo Geral: Criar um painel solar térmico com matérias reutilizados de forma a dar resposta ao consumo estipulado e aos parâmetros técnicos exigidos a tais tecnologias.

De referir que o objetivo geral foi alcançado pois o painel deu boas respostas e demonstrou que com alguma melhoria nos materiais de construção poderá ser uma forte concorrente aos painéis comerciais.

Já os objetivos específicos passam por:

- Compreender os processos de propagação e transmissão de energia;
- Estudar as tipologias e funcionamentos dos painéis solares térmicos;
- Efetuar Dimensionamentos e levantamento de consumos;
- Utilizar *softwares* de apoio e técnicas de controlo e automatização;

Analisar a viabilidade técnica e financeira do projeto.

Estes objetivos específicos por sua vez foram todos alcançados e com algum sucesso sendo um motivo de elevação para o trabalho agora concluído.

No que diz respeito as hipóteses colocadas sobre a pergunta de partida” Poderá ser viável construir um painel solar térmico com materiais reutilizados e que de resposta as exigências técnicas e de qualidade exigidos?”. ”.

Hipótese 1: O projeto apresentou ser viável economicamente e capaz de manter a produção dentro dos parâmetros requeridos para o nível de consumo estipulado.

Hipótese 2: O projeto não demonstra ser capaz de dar resposta as necessidades de consumo nem as diretrizes técnicas exigidas a uma tecnologia do tipo.

Hipótese 3: Poderá ser uma aposta viável caso seja possível encontrar outros materiais mais adequados e ou se aplicar processos industriais aos materiais reutilizados no processo.

A hipótese que se verificou foi a terceira porque mesmo aquecendo a água a temperaturas confortáveis e sendo muito barata a alguns requisitos técnicos que devem ser satisfeitos e com os atuais materiais ainda não foi possível.

Em resumo foi um trabalho que deu muito gozo na sua elaboração principalmente na montagem do protótipo, pois a combinação foi muito boa para melhorias de aptidões teóricas e praticas.

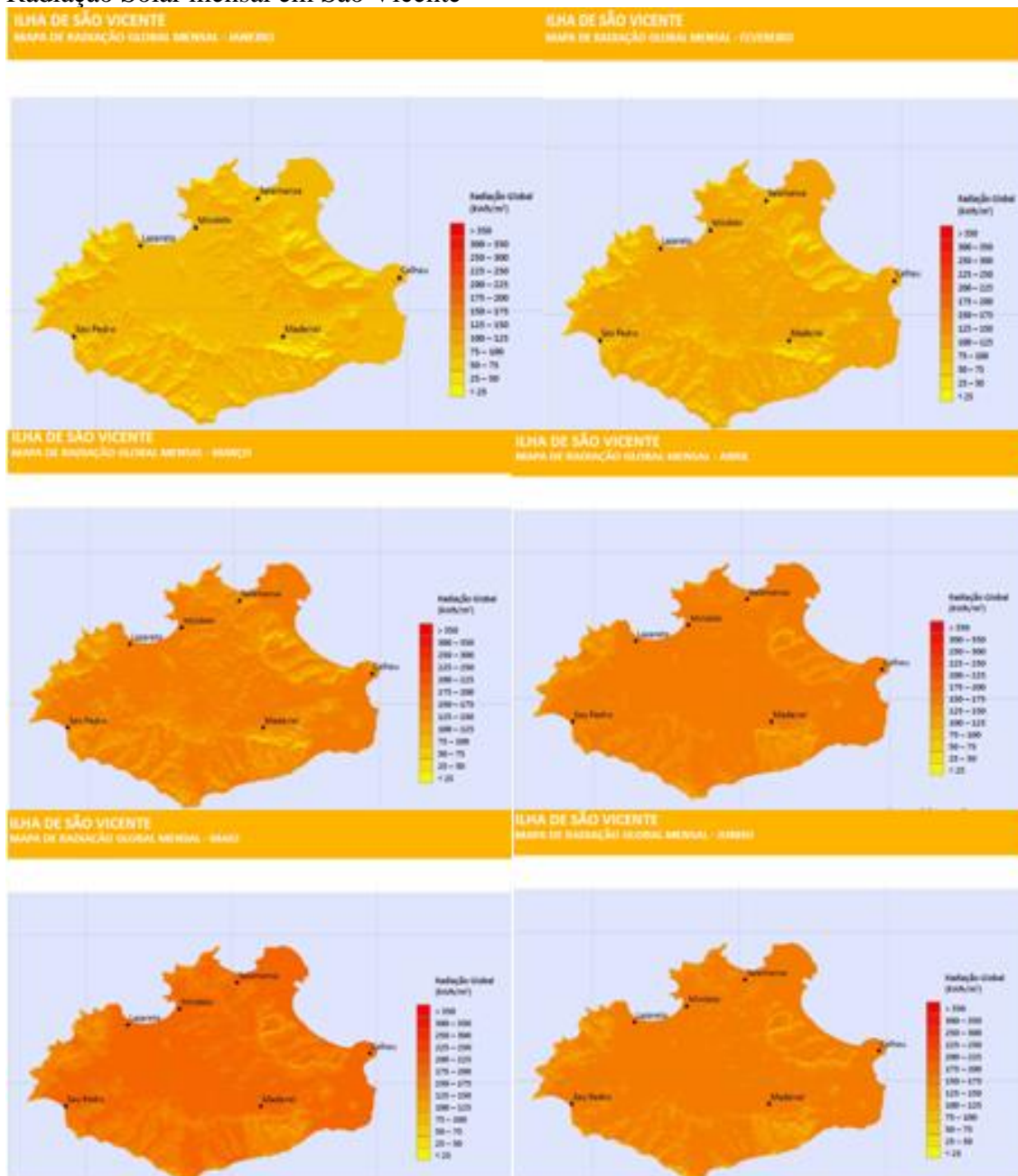
Os resultados demostraram ser muito positivos mesmo ainda havendo margem para mais estudos técnicos de melhoria para esta área.

4. Bibliografia

- BRITO Vanessa, (2014), “*Integração de Produção de Renováveis nas Ilhas de Cabo Verde- São Vicente*”, Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra, Coimbra;
- Castro Rui, (2013), “Uma Introdução as Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-hídrica”, 4ª Edição, Porto Editora, Porto;
- Duffie John, Beckman Williams, (2013), “*Solar Engineering Process*”, 5ª Edição, John Willey, New Jersey;
- Fonseca Pedro, (2018), “*Fundamentos da Utilização de Energia Solar*”, 1ª Edição, Universidade de Cabo Verde, Ribeira de Julião;
- Gesto Energia, (2011), S., *Plano energético renovável de Cabo Verde*. Direção-Geral de Energia, Praia;
- Juan de Cusa, (2005), “*Energia Solar em Vivendas*”, 4ª Edição, EDICIONES, Barcelona;
- REN21, (2016), *Energias Renováveis 2016: Relatório da Situação Mundial*, França;
- Rorizz Luan et al, (2014), “*Energia Solar Térmica em Edifícios*”, 4ª Edição, Porto;
- Sousa A. et al, (2003), *Energias Renováveis: Solar – Eólica – Ondas e Marés – Biomassa – Hidroelétrica – Geotérmica*, 1ª Edição, UTAD, Vila Real;
- Carolina Correia, (2018), viistado ao 10 de agosto de 2018, website:
<http://maisengenharia.altoqi.com.br/hidrossanitario/dimensionamento-de-sistema-de-energia-solar-para-aquecimento/>;

5. ANEXOS

Radiação Solar mensal em São Vicente



SISTEMA COMPACTO POR TERMOSSIFÃO

Kits Termossifão Compactos



MODELO F1 / TS 150-1E / FCC-2S

CÓDIGO PREÇO S/ IVA

7 736 501 520 1 440,00 €

• Kit termossifão de 150 litros, para instalação em telhado plano que inclui os seguintes componentes: • Coletor solar para instalação na vertical (FCC-2S) • Depósito de acumulação de cor cinza, de dupla envolvente de 145 l de capacidade útil, com possibilidade de apoio elétrico (TS 150-1E) e vaso de expansão incorporado • Kit de acessórios de ligação, com tubagens em EPDM reforçadas com nylon (WFS 61-150/300) • Estrutura de suporte para telhado plano e vento normal, fabricada em alumínio (WSF 2)

Nota: não inclui líquido solar (necessário 1 unidade de WTF 20 S); resistência elétrica para o depósito de acumulação TS 150-1E; vaso de expansão para circuito de água fria nem válvula misturadora.



MODELO A1 / TS 150-1E / FCC-2S

CÓDIGO PREÇO S/ IVA

7 736 501 519 1 375,00 €

• Kit termossifão de 150 litros, para instalação em telhado inclinado que inclui os seguintes componentes: • Coletor solar para instalação na vertical (FCC-2S) • Depósito de acumulação de cor cinza, de dupla envolvente de 145 l de capacidade útil, com possibilidade de apoio elétrico (TS 150-1E) e vaso de expansão incorporado • Kit de acessórios de ligação, com tubagens em EPDM reforçadas com nylon (WFS 61-150/300) • Estrutura de suporte para telhado inclinado e vento normal, fabricada em alumínio (WSA 1)

Nota: não inclui ganchos de fixação ao telhado. Não inclui líquido solar (necessário 1 unidade de WTF 20 S); resistência elétrica para o depósito de acumulação TS 150-1E; vaso de expansão para circuito de água fria nem válvula misturadora.



MODELO F1 / TS 200-1E / FCC-2S

CÓDIGO PREÇO S/ IVA

7 736 501 079 1 600,00 €

• Kit termossifão de 200 litros, para instalação em telhado plano que inclui os seguintes componentes: • Coletor solar para instalação na vertical (FCC-2S) • Depósito de acumulação de cor cinza, de dupla envolvente de 195 l de capacidade útil, com possibilidade de apoio elétrico (TS 200-1E) e vaso de expansão incorporado • Kit de acessórios de ligação, com tubagens em EPDM reforçadas com nylon (WFS 61-200) • Estrutura de suporte para telhado plano e vento normal, fabricada em alumínio (WSF 2)

Nota: não inclui líquido solar (necessário 1 unidade de WTF 20 S); resistência elétrica para o depósito

Códigos Arduino

SensorNivel | Arduino 1.8.8

Ficheiro Editar Rascunho Ferramentas Ajuda



SensorNivel

```
const int pinoSensor = A0;
const int Valvula = 12;

void setup() {
  //Serial.begin(9600);
  pinMode(pinoSensor, INPUT);
  pinMode(Valvula, OUTPUT);
}

void loop() {
  if(analogRead(pinoSensor) > 690){
    digitalWrite(Valvula, LOW);
  }else{ //SENÃO, FAZ
    digitalWrite(Valvula,HIGH);
  }
}
```

Arduino/Genuino Uno em COM

DS1820 | Arduino 1.8.8

Ficheiro Editar Rascunho Ferramentas Ajuda



DS1820

```
printAddress(Term3);
Serial.println();
Serial.print("Sensor 3, Endereço: ");
printAddress(Term4);
Serial.println();
}

void printAddress(DeviceAddress deviceAddress)
{ for(int i=0; i<8; i++) {
  if(deviceAddress[i] < 16) Serial.print("0");
  Serial.print(deviceAddress[i], HEX);
}
Serial.println();
}

void loop() {
  sensors.requestTemperatures();
  float T1 = sensors.getTempC(Term1);
  Serial.print(T1);
  Serial.print(" ");
  float T2 = sensors.getTempC(Term2);
  Serial.print(T2);
  Serial.print(" ");
  float T3 = sensors.getTempC(Term3);
  Serial.print(T3);
  Serial.print(" ");
  float T4 = sensors.getTempC(Term4);
  Serial.print(T4);
  Serial.println();
  delay(5000);
}
```